



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

ULB

Analyse des Einflusses unterschiedlicher Individualisierungsgrade eines Montagearbeitsplatzes

Rönick, Katharina

(2020)

DOI (TUprints): <https://doi.org/10.25534/tuprints-00011497>

Lizenz:



CC-BY-SA 4.0 International - Creative Commons, Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen

Publikationstyp: Dissertation

Fachbereich: 16 Fachbereich Maschinenbau

Quelle des Originals: <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/11497>

Analyse des Einflusses unterschiedlicher Individualisierungsgrade eines Montagearbeitsplatzes

Am Fachbereich Maschinenbau
der Technischen Universität Darmstadt

zur

Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von

M.Sc. Katharina Rönick

aus Mannheim

Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder, TU Darmstadt
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich, TU Darmstadt

Tag der Einreichung:	13.04.2020
----------------------	------------

Tag der mündlichen Prüfung:	24.06.2020
-----------------------------	------------

Darmstadt 2020

D17

Rönick, Katharina: Analyse des Einflusses unterschiedlicher Individualisierungsgrade eines Montagearbeitsplatzes

Darmstadt, Technische Universität Darmstadt

Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUpriints: 2020

URN: [urn:nbn:de:tuda-tuprints-114977](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:tuda-tuprints-114977)

Tag der mündlichen Prüfung: 24.06.2020

Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0 International

<https://creativecommons.org/licenses/>

Danksagung

Als erstes möchte ich mich bei meinem Doktorvater *Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder* bedanken. Er hat es mir ermöglicht in meiner favorisierten Disziplin, der Arbeitswissenschaft, zu arbeiten und zu promovieren. Mit unseren offenen Gesprächen hat er mich immer motiviert weiterzumachen und mir geholfen, Unsicherheiten zu überwinden. Gleichzeitig ermöglichte er mir mit jedem Gespräch neue Blickwinkel auf meine Arbeit, die mir halfen weiter voranzukommen.

Bei *Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich* bedanke ich mich herzlich für die Übernahme des Koreferats meiner Dissertation und der guten Zusammenarbeit im Rahmen des Kompetenzzentrums Mittelstand 4.0.

Ilka Zöller danke ich für ihre Unterstützung bei der Fertigstellung der Arbeit. Unsere produktiven Diskussionen, ihre Energie und ihre guten Ideen haben mir sehr geholfen, die Arbeit voranzutreiben und abzuschließen. Meinem Büromitbewohner *Christopher Stockinger* danke ich für seine Ruhe und Gelassenheit, die mir sehr half, wenn mal wieder einiges nicht so ging, wie es sollte. In stressigen Phasen hielt er mir immer den Rücken frei. Seinen Humor und die gemeinsame Liebe zum Kochen machten die Bürogemeinschaft perfekt. Ein großes Dankeschön an *Heike Märki*, sie stand mir mit Rat und Tat zur Seite und half mir mit gemeinsamen Yoga-Stunden nach Feierabend, auch wieder runterzukommen, wenn es stressig wurde. Dem ganzen *IAD-Team* danke ich für die freundliche Aufnahme und Unterstützung und den Zusammenhalt im Team. Ich fand immer ein offenes Ohr und eine helfende Hand, wenn ich sie brauchte. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei allen Bundesfreiwilligendienstleistenden und Studierenden, die mich beim Aufbau des Demonstrators und der Durchführung der Studie tatkräftig unterstützt haben. Namentlich erwähnen möchte ich besonders *Steffen Meiniger, Thilo Kremer, Florian Doch, Felix Imhof, Carolina Probsthain, Jonas Elschner, Denise Schlösser und Lucas Schröder*.

Tanja Stöbe danke ich für das Lektorat meiner Arbeit und den hilfreichen Anmerkungen zur Finalisierung.

Verena Marquis danke ich für ihre Anmerkungen beim Korrekturlesen meiner Arbeit und ihre aufbauenden Worte in den richtigen Momenten. Sie hat in jeder Lebenslage ein offenes Ohr für mich.

Der größte Dank geht an meine Familie: an meine Eltern *Rita und Udo* für ihre Liebe und Unterstützung, in allem was ich tue. Sie haben mir stets den Rücken gestärkt und mich immer ermutigt, neue Pfade auf meinem Lebensweg einzuschlagen. Meinem Onkel *Willi* danke ich für seine Unterstützung und seine Ratschläge während meines Studiums und meiner Promotion. Zuletzt möchte ich mich bei meinem Ehemann *Nils* bedanken. Ich weiß, dass ich mich in allen Lebenslagen auf ihn verlassen kann. Er ist immer für mich da, wenn ich ihn brauche. Ich freue mich auf unsere gemeinsame Zukunft!

Zusammenfassung

Noch immer werden Muskel-Skelett-Erkrankungen als Hauptursache für eine hohe Rate an Krankheitsausfällen angesehen. Daher ist eine nachhaltige Arbeitsgestaltung relevant, die es ermöglicht, objektive Arbeitsbedingungen individuell zu beeinflussen und so die Gesunderhaltung von Beschäftigten zu erreichen. Eine Möglichkeit dazu bieten individualisierbare Arbeitsplätze, die sich automatisiert an menschenbezogene Parameter anpassen können und so Belastungen reduzieren sollen. Doch die Nutzung solcher Systeme ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Ob eine Technologie genutzt wird, hängt vom Vertrauen und der Technikakzeptanz ab, die Beschäftigte individualisierbaren Assistenzsystemen entgegenbringen. Ein weiterer wesentlicher Faktor zur Nutzungsentscheidung ist das subjektive Anstrengungsempfinden. Ein System, das von einer Person als belastend angesehen wird, kann abgelehnt werden, auch wenn es objektiv betrachtet Belastungen reduziert.

Vorliegende Untersuchungen beschäftigen sich vor allem mit Höhe und Art der Belastungsreduzierung, die durch die adaptive Einstellung von Arbeitsplätzen erzielt werden kann. Welchen Einfluss solche Systeme auf das subjektive Anstrengungsempfinden und die Technikakzeptanz haben, wurde im Produktionskontext noch nicht betrachtet. Untersuchungen von Assistenzsystemen in der Luftfahrt und im Fahrzeug konnten bereits feststellen, dass eine hohe Automatisierungsstufe zu einem ablehnenden Nutzungsverhalten führt. Eine Kombination aus adaptiver Einstellung und individuell durchgeführter Nachjustierung kann Vorteile für das Nutzungsverhalten individualisierbarer Arbeitsplätze bieten.

In dieser Arbeit soll festgestellt werden, inwieweit sich diese Automatisierungsstufe positiv auf Technikakzeptanz und subjektives Anstrengungsempfinden auswirkt. Zusätzlich soll der Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz näher untersucht werden.

In dieser Arbeit wird zuerst auf Stand der Forschung und Technik von individualisierbaren Assistenzsystemen eingegangen und die Begrifflichkeiten des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz erläutert. Anschließend wird die Funktionsweise des individualisierbaren Steharbeitsplatzes vorgestellt, der für die Untersuchung entwickelt wurde. Es folgt die Darstellung der Methodik und der Aufbau der Laborstudie, die mit 55 Versuchspersonen durchgeführt wurde. Mit den erhobenen Daten werden das subjektive Anstrengungsempfinden und die Technikakzeptanz für eine automatisierte Adaption, eine automatisierte Adaption mit individueller Nachjustierung und eine Einstellung, die von den Nutzenden selbst getätigt werden kann, miteinander verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kombination aus automatisierter Adaption und Nachjustierung eine hohe Technikakzeptanz aufweist. Außerdem konnte festgestellt werden, dass ein Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz besteht. Diese Erkenntnisse könnten bei der zukünftigen Gestaltung und weiteren Untersuchungen zum Nutzungsverhalten individualisierbarer Systeme berücksichtigt werden.

Abstract

Musculoskeletal disorders are still considered the main cause of a high rate of absenteeism. Therefore, a sustainable workplace design is relevant in order to influence objective working conditions individually and achieve the employees' health. One way of doing this is to provide individualizable workplaces that can automatically adapt to human-related parameters and thus reduce stress. However, the use of such systems depends on various factors such as the trust and acceptance of technology that employees place in individualizable assistance systems. Another important factor in deciding to use a technology is the perceived exertion. A system that a person regards as exhausting can be rejected, even if it objectively reduces stress.

Present studies are mainly concerned with the level and type of stress reduction that can be achieved by automated adaptive workplace settings. The influence of such systems on the perceived exertion and the acceptance of technology has not yet been considered in the production context. Investigations of assistance systems in aviation and vehicles have already shown that a high level of automation leads to a rejective user behavior. A combination of automated adaptive adjustment and individually performed readjustment can offer advantages for the user behavior of individualizable workplaces.

In this thesis it shall be determined which positive effect this automation level has on the acceptance of technology and perceived exertion. In addition, the correlation between perceived exertion and technology acceptance will be investigated in more detail. The thesis discusses the state of research and technology of individualizable assistance systems and explains the definitions of perceived exertion and technology acceptance. Afterwards, the functionality of an individualizable standing workstation, which was developed for the study, is presented. This is followed by a description of the methodology and the structure of the laboratory study, which was conducted with 55 test persons. The data collected are used to compare the perceived exertion and the acceptance of the technology for automated adaptation, automated adaptation with individual readjustment and a manual adjustment that can be made by the users themselves.

The results show that the combination of automated adaptation and readjustment has a high level of technology acceptance. Furthermore, it was found that there is a correlation between perceived exertion and acceptance of the technology. These findings could be taken into account in the future design and further investigations of the usage behavior of individualizable systems.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	ii
Abstract.....	iii
Abbildungsverzeichnis.....	vi
Tabellenverzeichnis.....	viii
Abkürzungsverzeichnis.....	x
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	3
2 Stand der Forschung und Technik.....	5
2.1 Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung in der Montage.....	5
2.2 Individualisierbare Assistenzsysteme.....	6
2.3 Subjektives Anstrengungsempfinden.....	9
2.4 Technikakzeptanz.....	13
2.4.1 Theory of reasoned action.....	14
2.4.2 Technologieakzeptanzmodell.....	15
2.4.3 Theory of planned behaviour.....	16
2.4.4 Decomposed theory of planned behavior.....	17
2.5 Ableitung von Forschungsfragen.....	19
3 Aufbau und Funktionsweise des individualisierbaren Steharbeitsplatzes.....	21
3.1 Komponenten des Steharbeitsplatzes.....	21
3.2 Berechnung zur Einstellung der Aktoren.....	22
3.2.1 Höhenverstellung.....	23
3.2.2 Einstellung des Greifraums.....	24
3.3 Individualisierungsgrade.....	27
3.4 Anzeigeelement Touch-Bildschirm.....	28
3.5 Evaluation des Assistenzsystems.....	29
4 Untersuchungsmodell und Hypothesen.....	31
4.1 Ableitung des Untersuchungsmodells.....	31
4.1.1 Grundlegende Annahmen.....	31
4.1.2 Weitere Einflussfaktoren.....	34
4.1.3 Untersuchungsmodell.....	34
4.2 Vorstellung der Leithypothesen.....	35
5 Methodik.....	38
5.1 Versuchsdesign.....	38
5.1.1 Hypothesen.....	39
5.1.2 Stichprobe.....	40
5.2 Datenerhebung.....	41
5.2.1 Bodyscanner.....	41
5.2.2 Motion-Capture-System.....	42
5.2.3 Daten zur Person.....	44
5.2.4 Fragebogen zur Bestimmung der Technikaffinität.....	44
5.2.5 RPE-Skala zur Messung des subjektiven Anstrengungsempfindens.....	45
5.2.6 Technikakzeptanzfragebogen.....	46
5.2.7 Bewertung der Individualisierungsgrade.....	48

5.3	Versuchsablauf.....	48
5.4	Datenauswertung.....	51
5.4.1	Belastung.....	51
5.4.2	Subjektives Anstrengungsempfinden.....	53
5.4.3	Technikakzeptanz	54
5.4.4	Technikaffinität	56
5.4.5	Anthropometrie	57
5.5	Statistische Grundlagen	58
6	Ergebnisse	60
6.1	Deskriptive Auswertung	60
6.1.1	Beurteilung der Individualisierungsgrade und Auswertung der Nachjustierung.....	60
6.1.2	Auswertung der personenbezogenen Fragen, der Technikaffinität und der Anthropometrie ..	62
6.1.3	Gelenkwinkelmessung	69
6.1.4	Subjektives Anstrengungsempfinden.....	76
6.1.5	Konstrukte des Technikakzeptanzfragebogens.....	78
6.1.6	Umgang mit Ausreißerwerten	80
6.1.7	Normalverteilung.....	81
6.2	Untersuchung der Hypothesen	81
6.2.1	Vergleich der Gelenkwinkel	82
6.2.2	Betrachtung des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz.....	90
6.2.3	Zusammenhang des subjektiven Anstrengungsempfindens und den Eingangsgrößen der Technikakzeptanz	92
6.2.4	Einfluss der Technikaffinität und Anthropometrie	93
6.3	Zusammenfassung und Interpretation.....	94
7	Diskussion	98
7.1	Methodik	98
7.2	Ergebnisse	100
7.3	Ableitung von Gestaltungsempfehlungen	103
8	Zusammenfassung und Fazit	105
9	Literaturverzeichnis.....	107
Anhang	119
A	Hypothesen	119
B	Genehmigung der Ethikkommission	124
C	Anschreiben	125
D	Aufklärungsbogen und Datenschutzerklärung.....	127
E	Adaptionsprotokoll	129
F	Borg-Skala.....	131
G	TA-EG-Fragebogen	132
H	Technikakzeptanzfragebogen	138

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2: Einfaches Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, eigene Darstellung nach Rohmert (1984).....	9
Abbildung 3: Modell zur Beschreibung von Technostress in Organisationen (Adam et al., 2016)	12
Abbildung 4: Theory of reasoned action, eigene Darstellung nach Ajzen & Fishbein (1980).....	15
Abbildung 5: Technologieakzeptanzmodell, eigene Darstellung nach Davis et al., 1989)	16
Abbildung 6: Theory of planned behavior, eigene Darstellung nach Ajzen (1991)	17
Abbildung 7: Decomposed theory of planned behavior, eigene Darstellung in Anlehnung an Taylor & Todd (1995)	18
Abbildung 8: Aufbau des individualisierbaren Montagearbeitsplatzes	22
Abbildung 9: Darstellung der anthropometrischen Maße zur adaptiven Einstellung nach (DIN EN ISO 33402-2)	23
Abbildung 10: Abmessungen für Steharbeitsplätze nach DIN EN ISO 33406	23
Abbildung 11: Aufteilung der Reichweite nach vorn (RW) in Körpertiefe (KT) und Armlänge (AL), eigene Darstellung Anlehnung an DIN EN ISO 33402-2.....	25
Abbildung 12: Darstellung der geometrischen Beziehungen zur Einstellung des Greifraums, eigene Darstellung in Anlehnung an Meiniger et al. (2016)	26
Abbildung 13: Grundlegende Zusammenhänge des Untersuchungsmodells in Anlehnung an Rohmert (1984) und Adam et al. (2016), eigene Darstellung	31
Abbildung 14: Angepasstes Technikakzeptanzmodell nach Taylor & Todd (1995), eigene Darstellung.....	33
Abbildung 15: Modell zur Untersuchung unterschiedlicher Individualisierungsgrade eines Steharbeitsplatzes, ergänzt um Forschungsfragen (FF), eigene Darstellung	35
Abbildung 16: Intertialsensoren des Messsystems (eigene Darstellung)	42
Abbildung 17: Versuchsperson mit Motion-Capture-Sensoren am Steharbeitsplatz	43
Abbildung 18: RPE-Skala zur Bestimmung des subjektiven Anstrengungsempfindens, eigene Darstellung nach G. Borg (2004)	46
Abbildung 19: Zeitlicher Versuchsablauf Laborstudie.....	51
Abbildung 20: Beurteilung der Individualisierungsgrade	61
Abbildung 21: Geschlechterverteilung der Versuchspersonen sowie Erfahrungen mit Arbeiten im Stehen.....	62
Abbildung 22: Boxplot und prozentuale Verteilung der Technikaffinität (n=55)	63
Abbildung 23: Mittelwertvergleich des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz bzgl. der Technikaffinität.....	64

Abbildung 24: Verteilung anthropometrischer Körpermaße in cm (n=55)	65
Abbildung 25: Vergleich der Mittelwerte des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz bezüglich der Körperhöhe	67
Abbildung 26: Vergleich der Mittelwerte des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz bezüglich der Körpertiefe	68
Abbildung 27: Vergleich der Mittelwerte des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz bezüglich der Reichweite	68
Abbildung 28: Boxplots der Kopfneigung für alle Individualisierungsgrade (n=42)	70
Abbildung 29: Boxplots der Rumpfneigung für alle Individualisierungsgrade (n=42)	71
Abbildung 30: Boxplots der Flexion/Extension der Schultergelenke für alle Individualisierungsgrade (n=42)	73
Abbildung 31: Boxplots der Abduktion/Adduktion der Schultergelenke für alle Individualisierungsgrade (n=42)	75
Abbildung 32: Boxplot des subjektiven Anstrengungsempfindens für alle Individualisierungsgrade (n=55)	77
Abbildung 33: Boxplots der Nützlichkeit, Einfachheit der Nutzung und Kompatibilität für alle Individualisierungsgrade (n=55)	78
Abbildung 34: Boxplots der Konstrukte Einstellung zur Nutzung und Nutzungsabsicht für alle Individualisierungsgrade (n=55)	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnung des Verhältnisses von Arbeitshöhe und Körperhöhe	24
Tabelle 2: Berechnung des Verhältnisses von Greifweite zu Armlänge	26
Tabelle 3: Übersicht der Benutzungsoberflächen für die einzelnen Individualisierungsgrade	29
Tabelle 4: Darstellung der Leithypothesen sortiert nach Forschungsfragen (FF), eigene Darstellung ...	36
Tabelle 5: Unterschiedshypothesen zu Leithypothese 1.2.....	39
Tabelle 6: Zusammenhangshypothesen zu Leithypothese 3.1.....	40
Tabelle 7: Übersicht der Fragebogen-Items für jedes Konstrukt.....	47
Tabelle 8: Einteilung der Gelenkwinkel nach DIN EN 1005-4 und ISO 11226 in verschiedene Belastungszonen.....	52
Tabelle 9: Abweichungen der Messwerte des Motion-Capture Systems	53
Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse von Cronbachs Alpha zur Überprüfung der internen Konsistenz.....	55
Tabelle 11: Ergebnisse der Produkt-Moment-Korrelation der Konstrukte Einstellung zur Nutzung und Nutzungsabsicht (n=55)	56
Tabelle 12: Perzentilwerte zur Einteilung der Stichprobe nach DIN EN ISO 33402-2	57
Tabelle 13: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Zeitanteile je Belastungsbereich für die Kopfneigung (n=42)	70
Tabelle 14: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Zeitanteile für die Rumpfneigung (n=42).....	72
Tabelle 15: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Zeitanteile für die Schultergelenkwinkel für alle Individualisierungsgrade (n=42)	74
Tabelle 16: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Zeitanteile für die Abduktion/Adduktion für alle Individualisierungsgrade (n=42).....	76
Tabelle 17: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) des subjektiven Anstrengungsempfindens der RPE-Skala (n=55)	77
Tabelle 18: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Nützlichkeit, Einfachheit der Nutzung und Kompatibilität (n=55)	79
Tabelle 19: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der einzelnen Konstrukte Einstellung zur Nutzung und Nutzungsabsicht (n=55)	80
Tabelle 20: Ergebnisse des Post-hoc-Tests für die Kopfneigung in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42).....	83
Tabelle 21: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Abduktion/Adduktion des linken Schultergelenks in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42).....	85

Tabelle 22: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Abduktion/Adduktion des rechten Schultergelenks in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42).....	86
Tabelle 23: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Flexion/Extension des linken Schultergelenks in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42).....	88
Tabelle 24: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Flexion/Extension des rechten Schultergelenks in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42).....	89
Tabelle 25: Ergebnis des Post-hoc-Tests für das subjektive Anstrengungsempfinden, Vergleich der RPE-Skala (n=55)	91
Tabelle 26: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Technikakzeptanz, Vergleich der Likert-Skala (n=55)	91
Tabelle 27: Ergebnisse der Produkt-Moment-Korrelation des Anstrengungsempfindens und der Eingangsgrößen der Technikakzeptanz über alle Individualisierungsgrade (n=220)	93
Tabelle 28: Darstellung der Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD), mittlerer Differenz sowie die Ergebnisse des t-Tests für die Persönlichkeitsmerkmale.....	94

Abkürzungsverzeichnis

In der vorliegenden Arbeit wurde auf eine genderneutrale Formulierung der Begriffe geachtet.

A	adaptierbare Anpassung
A _H	Arbeitsflächenhöhe
AL	Armlänge
B	Tischbreite
C	Arbeitsstellenhöhe
CSV	Comma-Separated Values
DTPB	Decomposed Theory of Planned Behavior
FF	Forschungsfrage
GW	Greifweite
H ₂	Arbeitshöhe
K	Körperhöhe
KT	Körpertiefe
mA	automatisierte Adaption
mANJ	automatisierte Adaption mit Nachjustierung
MW	Mittelwert
oA	ohne Adaption
RFID	Radio-Frequency Identification
RPE	Rating of Perceived Exertion
RSME	Rating Scale of Mental Effort
RW	Reichweite nach vorn
s _A	Verfahrweg Akteur
SD	Standardabweichung
SH	Schulterhöhe
SUS	System Usability Scale
TAM	Technologieakzeptanzmodell
TLX	NASA Task Load Index
TPB	Theory of Planned Behavior
TRA	Theory of Reasoned Action
V _G	Verhältnis von Greifweite und Armlänge
V _H	Verhältnis von Arbeitshöhe und Körperhöhe

1 Einleitung

1.1 Motivation

Muskel-Skelett-Erkrankungen stellen noch immer die häufigste Ursache von Krankheitsausfällen am Arbeitsplatz dar, die betroffenen Personen sind im Durchschnitt 3 Wochen arbeitsunfähig (Rennert, Kliner & Richter, 2019). Für das produzierende Gewerbe ergaben sich hieraus für 2018 volkswirtschaftliche Ausfälle von 6,97 Milliarden Euro (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2018). Eine Ursache dieser gesundheitlichen Ausfälle stellen ungünstige Arbeitsbedingungen bzw. fehlende ergonomische Arbeitsplätze dar (Otto & Scholl, 2011).

Eine Erwerbstätigen-Umfrage von Lück, L. Hünefeld, Brenscheidt, Bödefeld und A. Hünefeld (2019) ergab, dass 53,5 % der ca. 20.000 Befragten häufig im Stehen arbeiten, 26,7 % empfinden dies als belastend. Dauerhaftes Stehen mit beschränkter Bewegungsmöglichkeit (Steharbeit) führt zu Zwangshaltungen (Pangert & Tannenhauer, 2012). Nach Landau, Weißert-Horn, Presl und Brauchler (2012) ist ein wesentliches Kriterium der Arbeitsplatzgestaltung die Vermeidung langanhaltender Zwangshaltungen. Diese führen zu statischen Muskelanstrengungen. Gerade ältere Beschäftigte sind unter Umständen nicht mehr in der Lage, ihren Körper in ungünstigen Körperhaltungen zu stabilisieren. Hier spiegelt sich die Relevanz wieder, insbesondere für Steharbeitsplätze neue Konzepte zur Belastungsreduzierung durch eine ergonomische Gestaltung zu erreichen.

Um eine nachhaltige Erhaltung der physischen Gesundheit sicherzustellen, ist eine zukünftige Arbeitsgestaltung relevant, die es den Beschäftigten ermöglicht, die objektiven Arbeitsbedingungen zu beeinflussen (Wischmann & Hartmann, 2018). Abhilfe können individualisierte und individualisierbare Lösungen schaffen, um die Belastungen für die Beschäftigten zu variieren und somit für alle Mitarbeitende eine ähnliche Beanspruchung zu gewährleisten (Reinhart et al., 2017). Individuell anpassbare Arbeitsplätze bieten die Möglichkeit, auf persönliche Unterschiede der Beschäftigten einzugehen, so können z.B. Körpermaße, Geschlecht aber auch die Konstitution des Mitarbeitenden bei der Arbeitsplatzgestaltung berücksichtigt werden (Schlund, Mayrhofer & Rupprecht, 2018). So kann z.B. anhand der individuellen Körperhöhe und Armlänge eine Einstellung der Arbeitshöhe sowie des Greifraums am Arbeitsplatz für jeden Beschäftigten erfolgen. Eine alternative Möglichkeit ist die individuelle Anpassung von Informationssystemen an den aktuellen mentalen Zustand einer Person, beispielsweise bei der Montageanweisung. Solche Systeme sind in der Praxis schon verbreitet, die Anpassung an Körpermaße zur Reduzierung von physischen Belastungen ist noch kaum umgesetzt. Gerade hier könnten individualisierbare Arbeitsplätze Abhilfe verschaffen. Durch sie könnten Arbeitsbelastungen reduziert und die Personaleinsatzflexibilität erhöht werden, da die Beschäftigten

langfristig leistungsfähig und so flexibel in der Produktion einsetzbar sind (Reinhart, Spillner, Egbers & Schilp, 2010).

Die Einführung von innovativen Systemen, wie z.B. individuell anpassbare Arbeitsplätze, kann außerdem die Zufriedenheit und Motivation der Beschäftigten beeinflussen (Ghislieri, Molino & Cortese, 2018). Der Beschäftigte und seine Reaktion auf die technischen Veränderungen der Arbeitsplätze stellen damit einen wichtigen Faktor für eine erfolgreiche Einführung solcher technischen Systeme dar (Ullrich, Vladova, Thim & Gronau, 2015). Gerade die individuelle Anpassung des technischen Systems an die nutzende Person kann zu einer Erhöhung der Technikakzeptanz führen (Hähnel et al., 2014). Denn technische Maßnahmen im Bereich der Verhältnisprävention können nur zur einer Verringerung von Belastungen am Arbeitsplatz führen, wenn die bereitgestellten technischen Systeme auch genutzt werden. Durch die Individualisierungsmöglichkeiten technischer Systeme können Beschäftigten Einfluss auf Aussehen und Funktionsweise der zu verwendeten Technik nehmen und müssen sich nicht mit einem feststehenden Produkt zufriedengeben, was die Technikakzeptanz und somit die Nutzungshäufigkeit erhöht (Lutherdt, 2017).

Viele Unternehmen greifen allerdings immer noch auf eine „one-size-fits-all“-Lösung zurück, da diese Systeme schnell und einfach beschafft und augenscheinlich kostengünstiger sind, bezieht man nur die Anschaffungskosten der Arbeitsplätze und keine volkswirtschaftlichen Produktionsausfallkosten mit ein. Zusätzlich sind je nach Art der Individualisierungsmöglichkeit der Arbeitsplätze personenbezogene Daten der Beschäftigten notwendig. Hierbei müssen rechtliche Rahmenbedingungen berücksichtigt und unternehmensinterne Regelungen geschaffen werden (Günthner, Klenk & Tenerowicz-Wirth, 2017), was aus Unternehmenssicht zu einem weiteren Mehraufwand führen könnte.

1.2 Zielsetzung

Die Individualisierbarkeit von Arbeitsplätzen bietet die Möglichkeit, ergonomisch günstige Arbeitsplatzeinstellungen zu wählen und so die Belastungssituation zu optimieren. Es stellt sich allerdings die Frage, wie weit eine Individualisierbarkeit durch den Menschen zugelassen werden kann und bis zu welchem Grad ein technisches System bei der Arbeitsplatzgestaltung eingreifen muss, um eine ergonomisch günstige Arbeitsplatzgestaltung zu gewährleisten, was wiederum zu einer Ablehnung des technischen Systems führen könnte. Die Art des Individualisierungsgrades hat Auswirkungen auf Belastungshöhe und Technikakzeptanz der Beschäftigten. Ein automatisiert eingestellter Arbeitsplatz sichert eine ergonomisch günstige Arbeitsplatzgestaltung, wird aber durch fehlende Systemtransparenz möglicherweise nicht benutzt. Eine Einstellung des Arbeitsplatzes durch den Beschäftigten fördert eine

hohe Akzeptanz, es garantiert aber nicht, dass der Arbeitsplatz anschließend auch eine optimierte Belastungssituation aufweist.

Diese Arbeit hat zum Ziel, einen Beitrag zur Gestaltung individualisierbarer Arbeitsplätze zu liefern. Hierzu werden verschiedene Individualisierungsgrade eines Steharbeitsplatzes auf Belastungen, subjektives Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz untersucht. Außerdem soll festgestellt werden, inwieweit die Bewertung einer Technologie nicht nur vom Produkt-Design und der Bedienbarkeit abhängig ist, sondern auch von der empfundenen Beanspruchung, die durch die Verwendung der Technologie bei der Durchführung einer Arbeitstätigkeit beeinflusst wird.

Insgesamt werden drei Individualisierungsgrade näher betrachtet: die adaptierbare Anpassung, die automatisierte Adaption und die automatisierte Adaption mit Nachjustierung. Bei der adaptierbaren Anpassung besitzt der Arbeitsplatz die technische Ausstattung für eine Anpassung, diese ist aber durch die Person, die an dem Arbeitsplatz arbeitet, selbst durchzuführen. Die automatisierte Adaption bietet die Möglichkeit, dass ein Arbeitsplatz eigenständig auf Basis von Daten eine ergonomische Einstellung für den Menschen vornimmt. Die automatisierte Adaption mit Nachjustierung verbindet beide Funktionsweisen der vorherigen Individualisierungsgrade miteinander. Nach einer automatisiert durchgeführten ergonomischen Einstellung des Arbeitsplatzes wird die Möglichkeit der Nachjustierung durch die Person, die den Arbeitsplatz nutzt, angeboten.

Es ist zu klären, inwieweit sich mittels einer Kombination der automatisierten Adaption des Arbeitsplatzes mit einer individuellen Nachjustierung eine ergonomisch günstige Arbeitsplatzeinstellung und eine positive Technikakzeptanz erreichen lässt. Diese Kombination wird mit der automatisierten Anpassung sowie der durch die nutzende Person selbst gewählte Arbeitsplatzeinstellung verglichen, um die Vorteile eines solchen Individualisierungsgrades deutlicher herauszuarbeiten. Durch die Kombination von Automatisierung und Individualisierung könnten die Beschäftigten dazu motiviert werden, ergonomische Hilfsmittel zu nutzen und somit zur Erhaltung der physischen Gesundheit beitragen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in vier Bereiche (vgl. Abbildung 1). Zu Beginn werden wesentliche theoretische Grundlagen bezogen auf individualisierbare Arbeitsplätze, Belastung und Beanspruchung sowie Technikakzeptanz aufgezeigt. Neben Untersuchungen zur Belastungsreduzierung adaptiver Arbeitsplätze wird das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept vorgestellt und relevante Technikakzeptanzmodelle erläutert. Es folgt die Entwicklung des Untersuchungsmodells und die

Ableitung von Hypothesen auf Basis der aufgearbeiteten Literatur. Die Hypothesen werden im Rahmen einer empirischen Studie untersucht. Das Versuchsdesign sowie das Vorgehen zur Auswertung der erhobenen Daten werden in Kapitel 4 beschrieben. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der durchgeführten Studie dargestellt und interpretiert. Anschließend werden die Methodik und die Ergebnisse der Arbeit diskutiert. Zum Schluss erfolgt die Ableitung möglicher Gestaltungsempfehlungen bei der Entwicklung und Einführung von individualisierbaren Arbeitsplätzen.

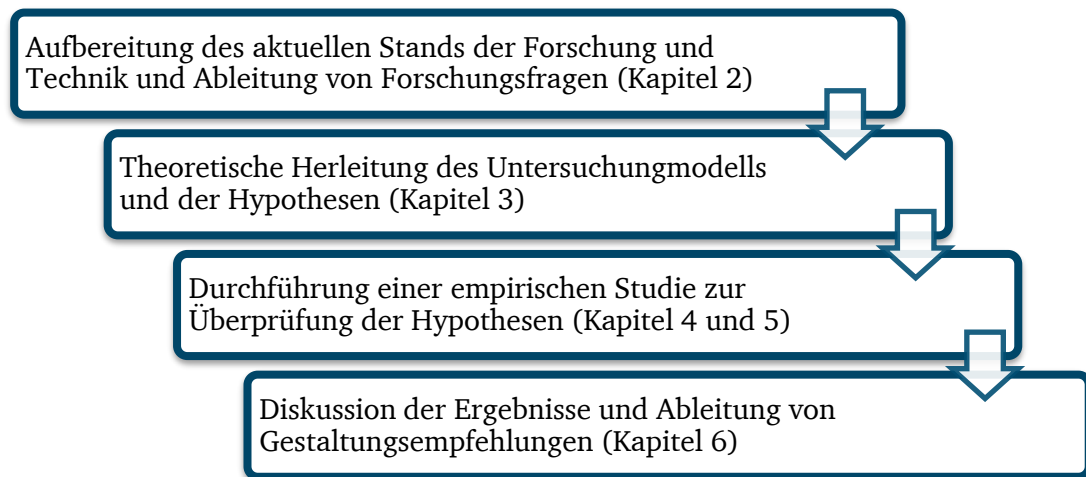


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

2 Stand der Forschung und Technik

Das folgende Kapitel führt in die ergonomische Arbeitsplatzgestaltung ein und zeigt den Stand der Forschung und Technik zu individualisierbare Assistenzsysteme auf. Anschließend werden die Begriffe des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz näher erläutert. Das Kapitel schließt mit der Ableitung von Forschungsfragen.

2.1 Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung in der Montage

Im Rahmen der Digitalisierung und Vernetzung werden sich die Produktionsprozesse verändern, es lässt sich aber feststellen, dass der Mensch weiterhin eine wichtige Rolle in der Fertigung einnehmen wird (Reinhart et al., 2017). Gerade in der manuellen Montage steht der Mensch im Mittelpunkt der Fertigungsprozesse, das Arbeitsergebnis ist hierbei von der Leistungsfähigkeit des Beschäftigten abhängig (Lotter, 2012). Um die Leistungsfähigkeit zu erhalten und die Gesunderhaltung der Beschäftigten sicherzustellen, ist eine ergonomische und gesundheitsförderliche Arbeitsgestaltung für die Unternehmen wesentlich und auch gesetzlich im Betriebsverfassungsgesetz festgeschrieben (Landau & Luczak, 2001).

Die Leistungsfähigkeit eines Menschen kann durch die technischen Arbeitsmittel und ihre Gestaltung beeinflusst werden, hierbei spielt die anthropometrische Arbeitsplatzgestaltung eine wichtige Rolle (Rühmann & Bubb, 2010). Die Arbeitsplätze werden hinsichtlich der Körpermaße der späteren Nutzungsgruppe ausgelegt, wobei Alter, Geschlecht und ethnische Herkunft der Nutzenden zu berücksichtigen (Schmauder & Spanner-Ulmer, 2014) sind. Die Autorenschaft gibt als Regelsatz für die Dimensionierung von Produkten und Arbeitsplätzen das 5. Perzentil der Frau und das 95. Perzentil des Mannes als Grenzwerte für die Gestaltung der Maße an. Dieser Regelsatz leitet sich aus der Auslegung von Innenmaßen und Außenmaßen ab, die nach dem 5. Perzentil und 95. Perzentil ausgelegt werden sollen, um sicherzustellen, dass Distanzen an Arbeitsplätzen von allen Nutzungsgruppen erreicht werden können, aber gleichzeitig keine Behinderung für einen Teil der Nutzungsgruppe entsteht (Rühmann & Bubb, 2010).

Insbesondere im Bereich von stationären Montagearbeitsplätzen ist ein wichtiges Ziel der Arbeitsplatzgestaltung die Optimierung bzw. Reduzierung von statischen Körperhaltungen (Egbers, 2014). Ergonomische Grundsätze zur Arbeitsplatzgestaltung sehen vor, dass jeder Arbeitsplatz die Möglichkeit der Anpassung auf individuelle Körpermaße und Greifräume bieten soll, unabhängig davon, ob es sich um einen Einzelarbeitsplatz oder eine Linienmontage handelt (Lotter, 2012). Die Anpassung sollte so erfolgen, dass eine aufrechte Körperhaltung und nur im geringen Maße eine gebeugte Haltung

eingenommen werden kann (Schlund et al., 2018). Im Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung ist es aber häufig nicht möglich, den Arbeitsplatz ergonomisch optimal zu gestalten (Brombach & Leisgang, 2017). Hier könnten innovative Assistenzsysteme einen Beitrag zur Verbesserung der Ergonomie leisten.

2.2 Individualisierbare Assistenzsysteme

Assistenzsysteme sind technische Systeme, die eine Person bei ihrer Tätigkeit unterstützen (Schlick, Bruder & Luczak, 2018). Der Mensch wird nicht ersetzt, die Unterstützung erfolgt der Tätigkeit angemessen und die nutzende Person hat jederzeit die Souveränität über das System (Weidner, Redlich & Wulfsberg, 2015). Nach Apt, Bovenschulte, Priesack, Weiß & Hartmann (2018) können drei menschenbezogene Unterstützungsarten unterschieden werden: physische, sensorische und kognitive Assistenz. Die physische Assistenz wird bei körperlichen Tätigkeiten mit hoher Anstrengung oder zur Vorbeugung und zum Ausgleich abnehmender Leistungsfähigkeit eingesetzt. Sensorische Unterstützung erfolgt bei Tätigkeiten, die die Sinnesorgane ansprechen. Bei der kognitiven Assistenz zielt die Unterstützung auf Entscheidungsvorgänge ab, bei denen eine kontextsensitive Bereitstellung von Informationen notwendig ist.

Eine Erweiterung der oben beschriebenen Assistenzsysteme ist eine Unterstützung, bei der der aktuelle Nutzungskontext oder die Bedürfnisse der Nutzenden mitberücksichtigt werden (Maedche, Morana, Schacht, Werth & Krumeich, 2016). Nach Herczeg (2006) bezeichnet man Systeme, die sich an den Arbeitskontext oder die Bedürfnisse der nutzenden Person anpassen können, als Individualisierungssysteme. Hierbei unterscheidet der Autor zwei Arten von Anpassung, die adaptierbare und die adaptive Anpassung. Bei der Adaptierbarkeit geschieht die Anpassung durch die benutzende Person. Über bestimmte Eingabefunktionen wird die Möglichkeit gegeben, das System an die eigene Person anzupassen, d.h. es zu personalisieren. Bei adaptiven Systemen geschieht die Anpassung automatisiert durch das System selbst. Der Unterschied zwischen diesen beiden Anpassungen wird im Kontext der Montageinformationssysteme erläutert. Bei einem adaptierbaren Informationssystem können die Beschäftigten je nach ihrem Qualifikationsstand die Art der Montageanweisungen selbst einstellen (Teubner, Vernim, Dollinger & Reinhart, 2018). Bei einem adaptiven Informationssystem wird der Detailgrad der Montageanweisungen automatisiert anhand der Historie des Beschäftigten ausgewählt (Kerber & Lessel, 2015). Das System erkennt automatisch, in welchen Qualifikationsgrad die nutzende Person eingestuft werden kann und passt die Anzeige der Montageanweisung automatisiert an. Je nach Nutzungskontext bzw. Tätigkeit, die durch die individualisierbare Anpassung unterstützt werden soll, kann man sich für die ein oder andere Art des Individualisierungssystems entscheiden. Bedingt ein Fehlverhalten der nutzenden Person schwerwiegende negative Folgen, ist eine

automatisierte Anpassung die der individuellen Anpassung vorzuziehen, wie z.B. im Fahrzeugkontext (Jentsch, Rossner, Missbach & Bullinger, 2015).

Im Produktionskontext bieten adaptive Assistenzsysteme die Möglichkeit, Produktionsarbeitsplätze ergonomisch günstig zu gestalten und so langfristig Belastungen zu reduzieren (Reinhart et al., 2010). Diese Assistenzsysteme sind in der Lage, die Arbeitsplatzgeometrie automatisiert an die Beschäftigten anzupassen. Dem gegenüber steht die Einführung einer „one-size-fits-all“-Lösung, bei der individuelle Unterschiede nicht berücksichtigt werden, sondern alle Beschäftigte in der gleichen Arbeitsplatzeinstellung arbeiten. Dies führt zu einer gleichbleibenden Belastung für alle Beschäftigte und somit je nach Konstitution zu einer unterschiedlichen Beanspruchung.

Studien zu adaptiven Assistenzsystemen, die die physischen Belastungen reduzieren, sind aktuell wenige bekannt. Zur Optimierung von Zwangshaltungen entwickelten Beuß, Zopff, Sender, Schröder & Jagusch (2017) einen flexiblen, adaptiven Arbeitsplatz, der sich anhand von Montageaufträgen und Körpermaßen des Mitarbeitenden automatisiert an den Arbeitsauftrag anpasst. Eine durchgeführte Belastungsanalyse mittels Simulation der Bewegungen zeigte, dass das adaptive System die Belastungen durch Zwangshaltungen deutlich reduziert. Nguyen, Bloch & Krüger (2016) stellten ein weiteres Individualisierungssystem zur Belastungsreduzierung vor. Bei diesem adaptiven Assistenzsystem zur Reduzierung von Zwangshaltungen wird mittels eines Sensors die Körperhaltung des Mitarbeitenden überwacht. Bei schlechter, z.B. stark gebeugter Körperhaltung wird die Werkstückhöhe mittels Aktoren automatisiert verändert. Bei der Simulation der Belastungen konnte auch hier eine Reduzierung der Belastungen von einem kritischen in einen akzeptablen Bereich festgestellt werden.

Doch diese Belastungsoptimierungen sind nur wirksam, wenn die Nutzenden dieser Technik gegenüber eine hohe Akzeptanz aufweisen (Beuß et al., 2017). Denn nur, wenn die Technik akzeptiert wird, kann auch von einer Nutzung der Technik ausgegangen werden. Bei der Entwicklung von Assistenzsystemen spielt die Technikakzeptanz einen Schlüsselfaktor, den es zu berücksichtigen gilt (Brauer, Fischer & Grande, 2015). Ein Grund, der die Technikakzeptanz und somit das Nutzungsverhalten bei einer automatisierten Mensch-Maschine-Interaktion positiv oder negativ beeinflussen kann, ist das Vertrauen in das automatisierte technische System. Schaefer, Chen, Szalma & Hancock (2016) untersuchten in einer Meta-Analyse relevante menschbezogene und technologische Faktoren, die Auswirkungen auf das Vertrauen in automatisierte Systeme haben. Hinsichtlich der menschbezogenen Faktoren konnte die Autorenschaft leichte bis moderate Effekte für kognitive Einflüsse wie Systemverständnis und Erwartungshaltung (Effektstärke von 0,39) sowie moderate bis starke Effekte für die Einflüsse der Nachvollziehbarkeit, Systemtransparenz und Zufriedenheit der nutzenden Personen gegenüber dem automatisierten System feststellen (Effektstärke von 0,72). Bei den technologischen Faktoren spielen die

Merkmale der Automation eine Rolle (Effektstärke von 0,35). Hierunter fällt auch die Art der Automation. Sauer J., Nickel und Wastell (2013) untersuchten verschiedene Arten der Automation bei einer Überwachungstätigkeit und konnten bestätigen, dass das Vertrauen in eine automatisierte Systemeinstellung geringer ist als in eine Einstellung, bei der der Mensch mehr Bedienungsfreiräume hat. Die Versuchspersonen bevorzugten die Nutzung weniger automatisierter Systemeinstellungen, obwohl sie dafür länger für die Fehlerdiagnose brauchten.

Bezieht man diese Ergebnisse auf die automatisierte (adaptive) oder adaptierbare Anpassung, so lässt sich festhalten, dass adaptive Systeme ein geringes Systemverständnis bieten. Es wird den Nutzenden nicht ersichtlich, welche Prozesse bzw. Entscheidungsgrundlagen den automatisierten Anpassungen zu Grunde gelegt sind. Dadurch sind die Systemvorschläge nicht nachvollziehbar. Weiterhin bieten adaptive Individualisierungssysteme keine Systemtransparenz (Bunt, Conati & McGrenere, 2004). Dies kann zu einer ablehnenden Haltung und geringeren Nutzungshäufigkeit von adaptiven Systemen führen.

Bei adaptierbaren Individualisierungssystemen wiederum hat die nutzende Person jederzeit die Kontrolle über das System, somit ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Ansatz akzeptiert wird, höher als bei adaptiven Systemen (Hameed & Sarter, 2009). Untersuchungen bei adaptierbaren Benutzungsoberflächen haben allerdings gezeigt, dass Nutzende die Möglichkeit der eigenständigen Anpassung nicht effektiv genug nutzen (Bunt et al., 2004).

Im Kontext individualisierbarer Arbeitsplätze stellt die Belastungsreduzierung den wesentlichen Vorteil dieses Systems gegenüber herkömmlichen Arbeitsplätzen dar. Es ist aber nicht zwangsläufig ein Zusammenhang zwischen den durch die ausgeführte Tätigkeit ermittelten Belastungen sowie dem subjektiven Anstrengungsempfinden feststellbar (Lawaczeck, Landau, Oelker & Schaub, 2003). Ergonomische Maßnahmen, die objektiv gemessen eine Belastungsreduzierung hervorrufen, werden von den Beschäftigten am Arbeitsplatz nicht als eine Entlastung wahrgenommen. Dies wirkt sich zusätzlich auf die Zufriedenheit der Beschäftigten aus (Kotzab, 2015). Inwieweit diese subjektiv empfundene Beanspruchung auch einen Einfluss auf die Technikakzeptanz hat, ist noch nicht bekannt.

Die vorliegenden Literaturergebnisse zeigen auf, dass automatisierte (adaptive) Arbeitsplätze eine Möglichkeit der Belastungsreduzierung bieten und somit einen Beitrag zur Gesunderhaltung der Beschäftigten leisten können. Hierfür ist aber eine Nutzung solcher Systeme Voraussetzung. Die Nutzung wird von der Technikakzeptanz beeinflusst. Gerade automatisierte Systeme weisen eine geringe Systemtransparenz und Nachvollziehbarkeit auf und werden daher weniger akzeptiert und somit genutzt als Systeme, bei denen die nutzenden Personen selbst Einstellungen vornehmen können. Inwieweit das subjektive Anstrengungsempfinden zusätzlich einen Einfluss auf die Technikakzeptanz und somit auf das Nutzungsverhalten hat, wurde in diesem Kontext noch nicht wissenschaftlich betrachtet.

Schlund et al. (2018) sehen für individualisierbare Montagearbeitsplätze eine Forschungslücke, was die systematische Bewertung der unterschiedlichen Individualisierungsdimensionen anbelangt. Bezüglich der Akzeptanz von Individualisierungssystemen zur Belastungsreduzierung könnte eine Kombination aus adaptierbarer und adaptiver Anpassung sinnvoll sein, um die Akzeptanz solcher automatisierten Arbeitsplätze zu erhöhen.

Diese Arbeit möchte daher untersuchen, inwieweit unterschiedliche Automatisierungsgrade individualisierbarer Arbeitsplätze einen Einfluss auf die Bewertung der Technikakzeptanz und des subjektiven Anstrengungsempfinden haben. Hierbei soll vor allem herausgestellt werden, welche Vorteile die Kombination aus adaptierbarer und adaptiver Anpassung bietet. Die Bewertung eines solchen Individualisierungsgrades wurde in der Literatur bis jetzt noch nicht näher betrachtet. Außerdem soll untersucht werden, inwieweit die Technikakzeptanz vom subjektiven Anstrengungsempfinden abhängig ist und somit als zusätzlichen Faktor für ein positives oder negatives Nutzungsverhalten verantwortlich sein kann. Die folgenden Kapitel gehen näher auf die Begrifflichkeiten des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz ein.

2.3 Subjektives Anstrengungsempfinden

Wie im vorherigen Kapitel erläutert kann das subjektive Anstrengungsempfinden eine wesentliche Rolle bei der Nutzung ergonomischer Lösungen spielen. Unter dem subjektiven Anstrengungsempfinden wird die subjektiv empfundene Beanspruchung verstanden, die durch eine Belastung auf den Menschen wirkt. Der Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung sowie die Ableitung des Begriffs des subjektiven Anstrengungsempfinden wird im Folgenden näher erläutert.

Zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Belastungen und Beanspruchungen wird in der Arbeitswissenschaft das einfache Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nach Rohmert (1984) herangezogen (vgl. Abbildung 2).

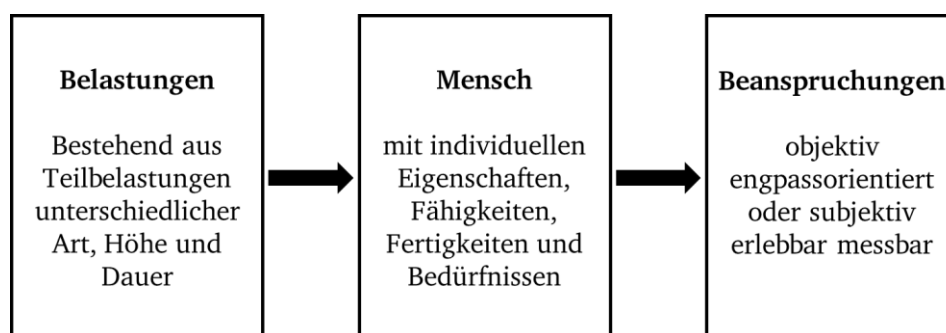


Abbildung 2: Einfaches Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, eigene Darstellung nach Rohmert (1984)

Der Autor nutzt das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept zur Erklärung von Auswirkungen auf den Menschen bei der Ausführung von Tätigkeiten im Arbeitskontext. Hierbei werden Belastungen als Einflüsse verstanden, die von außen auf den Menschen wirken. Nach dem Ursache-Wirkungs-Prinzip erzeugen Belastungen, die bei der Ausführung einer Tätigkeit entstehen, Beanspruchungen auf den Menschen, wobei diese sehr individuell ausfallen können. Hintergrund hierfür ist, dass jeder Mensch unterschiedliche Voraussetzungen zur Bewältigung dieser Belastungen mit sich bringt. Diese Voraussetzungen sind Eigenschaften, die sich über die Lebenszeit nicht wesentlich verändern, wie z.B. Geschlecht oder Anthropometrie, Fähigkeiten, die die physiologische Verfassung beschreiben, Fertigkeiten, die durch die Ausübung einer Tätigkeit trainiert werden können sowie aktueller Bedürfnisse, die sich z.B. aus sozialen Umständen ergeben.

Belastungen lassen sich durch Art, Höhe und Dauer beschreiben, wobei sich bei einer Tätigkeit durchaus mehrere Teilbelastungen ergeben können. Genauso können sich Beanspruchungen aus mehreren Teilbeanspruchungen zusammensetzen. Beanspruchungen sind objektiv engpassorientiert oder subjektiv erlebbar messbar. Bei der objektiv engpassorientierten Messung werden Engpässe beim Menschen identifiziert, z.B. welche Organe durch die vorliegende Belastung beansprucht werden könnten oder welche Funktionseinschränkung beim Menschen durch die Belastung entstehen kann. Daraus werden Messgrößen abgeleitet, die dann modellbasiert oder durch Messaufzeichnungen bestimmt werden können. Unter der subjektiv erlebbaren Beanspruchung wird die empfundene Beanspruchung verstanden, die von der arbeitenden Person selbst beschrieben, beurteilt und skaliert wird. Auch diese Einschätzung ist, ähnlich wie bei der Technikakzeptanz, eine höchst subjektive Einschätzung der einzelnen Person selbst.

Nach Bullinger-Hoffmann & Mühlstedt (2016) sind z.B. die Elektrokardiografie oder –myografie (Messung der Herzfrequenz bzw. der Muskelaktivität) geeignete Verfahren zur Messung der objektiv engpassorientierten Beanspruchung. Verfahren zur Messung der subjektiv erlebbaren Beanspruchung teilt die Autorenschaft in Verfahren mit eindimensionalen und mehrdimensionalen Messskalen auf. Verfahren mit eindimensionaler Skala sind z.B. die RPE-Skala nach G. Borg (1982) zur Erfassung körperlicher subjektiv erlebbarer Beanspruchung oder die Rating Scale of Mental Effort (RSME) nach Zijlstra (1993) zur Messung mentaler subjektiv erlebbarer Beanspruchung. Mehrdimensionale Verfahren zur Messung der subjektiv erlebbaren Beanspruchung sind z.B. der NASA Task Load Index (TLX) nach Hart (2006). Bei der RPE-Skala oder der RSME-Skala werden Anstrengungswerte zur Einstufung der empfundenen Beanspruchung verwendet. Daher kann hierbei auch vom subjektiven Anstrengungsempfinden gesprochen werden. Mit der Einführung des Begriffs lassen sich auch die Begrifflichkeiten subjektiv empfundene und objektiv messbare Beanspruchung besser voneinander abgrenzen. Vom subjektiven Anstrengungsempfinden bzw. der subjektiv empfundene Beanspruchung

spricht man, wenn die Person, auf die die Belastung wirkt, die auf sich wirkende Beanspruchung selbst einschätzt. Im Gegensatz hierzu wird die objektive messbare Beanspruchung mit gängigen technischen Messverfahren bestimmt.

Ein weiteres Modell zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Belastung und Beanspruchung speziell für adaptive Systeme liefern Adam, Gimpel, Maedche & Riedl (2016). Sie entwickelten ein Modell zur Untersuchung von Technostress bezüglich der Nutzung von adaptiven Informationssystemen in Unternehmen. Das Modell wird um weitere menschenbezogenen Faktoren wie z.B. das empfundene Wohlbefinden und die Nutzungszufriedenheit erweitert.

Im Modell wird unter Technostress eine Beanspruchung oder Anstrengung verstanden, die Personen in Organisationen bei der Nutzung von Informationstechnologie erfahren (Ragu-Nathan, T.S., Tarafdar, Ragu-Nathan, B.S. & Tu, 2008). Die Entwicklung dieses Modells wurde von Forschungsergebnissen von Hancock & Warm (1989), Lazarus & Folkman (1984) sowie Riedl (2013) beeinflusst. Deren Untersuchung betrachten nicht nur die Verkettung von Belastung und Beanspruchung, sondern auch die Bewältigungsmechanismen eines Menschen, der unter einer Belastung steht. Das Modell von Adam et al. (2016) verknüpft die Theorien der drei oben genannten Arbeiten mit individuellen, technologischen und organisatorischen Interventionen am Beispiel von soziotechnischen Informationssystemen. Hierunter versteht die Autorenschaft Anwendungssoftware, die im Unternehmen genutzt wird. Das Modell soll zum einen als Leitfaden zur Untersuchung von Belastungen im professionellen Kontext dienen, zum anderen zeigt es Parameter auf, mit denen das Ursache-Wirkungs-Prinzip zwischen Belastungen, Beanspruchungen und den Konsequenzen daraus beeinflusst werden kann.

Das Modell von Adam et al. (2016) ist in Abbildung 3 dargestellt. Es zeigt Parallelen zum Belastungs-Beanspruchungs-Konzept auf. Auch hier bewirken Ursachen, die eine Belastung erzeugen können (stressors), eine Beanspruchung als Reaktion auf die Belastung (stress reaction). Dieses Konstrukt wird um daraus abgeleitete Konsequenzen erweitert. Belastungsursachen können durch Art der Tätigkeit (job characteristics) sowie der technologischen, organisatorischen und sozialen Umgebung initiiert werden, wobei die technische Umgebung als die relevanteste Ursache identifiziert wurde, die auch die anderen Stressoren negativ beeinflussen kann. Damit ist nicht die Gestaltung der Technologie gemeint, sondern Faktoren wie die Komplexität der Technologie und der damit verbundene Aufwand, die Anwendung der Technik zu erlernen oder die Angst, von der Technik ersetzt zu werden. Die relevanteste Reaktion auf die Belastungen ist die physiologische Beanspruchung wie z.B. die Herzschlagfrequenz. Eine Person kann aber auch emotional auf eine Belastung reagieren, was eine veränderte Wahrnehmung sowie eine Verhaltensänderung hervorrufen kann. Aus der Stressreaktion ermittelte Konsequenzen können Veränderungen des Wohlbefindens und der Gesundheit, der Leistung und Produktivität von

Beschäftigten sowie der Nutzungszufriedenheit sein. Aufbauend auf diesem Ursache-Wirkungs-Prinzip gibt es noch zusätzliche Parameter, die die Auswirkungen der Belastung auf die Beanspruchung sowie die daraus entstehenden Konsequenzen beeinflussen können (possible interventions). Diese werden in die Ebenen Individuum, Technologie und Organisation eingeteilt. Die Ebene des Individuums umfasst alle Parameter der nutzenden Personen technischer Systeme. Auf technologischer Ebene stellt die Art der Adaption einen möglichen Faktor der Intervention dar. Interventionen auf der organisatorischen Ebene beziehen sich auf die Arbeitsorganisation und können z.B. Verantwortlichkeiten oder Arbeitspläne sein. Das Technostress-Modell wurde auf Basis von Literatur und Interviews theoretisch hergeleitet, eine statistische Untersuchung der Zusammenhänge erfolgte nicht.

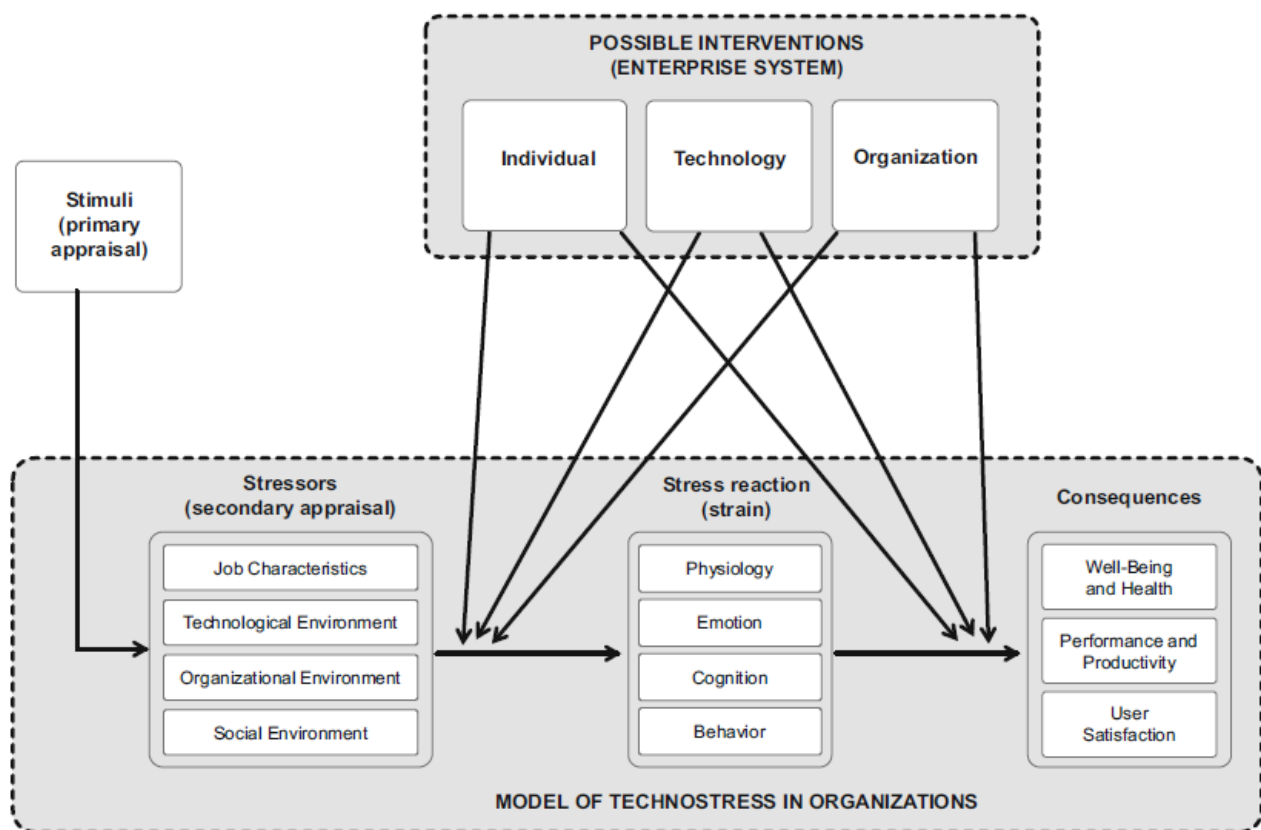


Abbildung 3: Modell zur Beschreibung von Technostress in Organisationen (Adam et al., 2016)

Der Zusammenhang zwischen einer objektiv gemessenen Belastung und dem subjektiven Anstrengungsempfinden kann unterschiedlich ausfallen. Im Idealfall stimmt die festgestellte Belastung mit dem Anstrengungsempfinden des Menschen überein. So stellten z.B. Formazin und Schütte (2019) in einer Untersuchung von Arbeitsbereichen in der Automobilherstellung fest, dass die gemessene Belastung durch Umgebungsfaktoren wie Lärm und Beleuchtung mit der Einschätzung der Beschäftigten übereinstimmt.

Es kann aber auch ein gegenläufiger Zusammenhang zwischen Belastung und Anstrengungsempfinden auftreten. Lawaczeck (2001) verglich Belastungen von Montagetätigkeiten, die mittels eines objektiven Belastungsbewertungsverfahrens bestimmt wurden, mit den subjektiven Einschätzungen des Fachpersonals. Er konnte aufzeigen, dass Tätigkeiten mit geringen Belastungsbewertungen als subjektiv hoch belastend eingestuft wurden um umgekehrt. Kotzab (2015) untersuchte in einer Längsschnittstudie den Zusammenhang zwischen objektiv festgestellter Belastungen und den subjektiven Anstrengungsempfinden. Er stellte fest, dass ein Rückgang der Belastungen durch ergonomische Maßnahmen nicht zu einer besseren subjektiven Einschätzung führte. Es zeigte sich, dass die Arbeitszufriedenheit sowie organisatorische Faktoren wie die Bereitstellung von Kurzpausen sowie soziale Aspekte wie der Führungsstil Gründe für die konträre Bewertung von Belastung und subjektiven Anstrengungsempfinden sein könnten.

Wie in Kapitel 2.2 ersichtlich, spielt die Zufriedenheit und somit die Technikakzeptanz eine wichtige Rolle bei der Bewertung von Technologie und Anstrengungsempfinden. Im Folgenden wird der Begriff der Technikakzeptanz näher definiert und Modellansätze zur Erläuterung der Technikakzeptanz vorgestellt.

2.4 Technikakzeptanz

Der Begriff der Technikakzeptanz sowie deren Einflussfaktoren werden in verschiedenen Disziplinen diskutiert, wobei sich je nach Disziplin unterschiedliche Interpretationen und Modelle des Begriffes ergeben (vgl. z.B. Alexandre, Reynaud, Osiurak & Navarro, 2018). Für diese Arbeit wird die Definition der Technikakzeptanz nach Niklas (2015) herangezogen. Hierbei beschreibt die Technikakzeptanz die positive Einschätzung einer Person gegenüber einer innovativen Technologie und deren Nutzung. Die dabei ablaufenden psychischen Prozesse auf emotionaler und kognitiver Ebene, die bei der Übernahme und Nutzung der Innovation auftreten können, führen zu einer handlungsorientierten Motivation. Laut Niklas (2015) ist die Technikakzeptanz somit ein sehr subjektives Einstellungsverhalten. Dockweiler (2016) gibt an, dass die Technikakzeptanz auf drei Ebenen beeinflusst werden kann, auf der Ebene des Akzeptanzobjekts, des Akzeptanzsubjekts und des Akzeptanzkontextes. Die Ebene Akzeptanzobjekt zielt auf die menschengerechte Gestaltung und Bedienung von Technik ab und bezieht sich auf die Innovation selbst. Die Ebene des Akzeptanzsubjekts beschäftigt sich mit der nutzenden Person, ihren Einstellungen gegenüber der Technik sowie die zu erwartenden positiven und negativen Effekte, die durch den Einsatz der innovativen Technik entstehen könnten. Der Akzeptanzkontext bezieht das soziale, physische, ökonomische und rechtliche Arbeitsumfeld, in der sich Subjekt und Objekt befinden, mit ein. All diese Ebenen können durch unterschiedliche Maßnahmen beeinflusst werden, z.B. durch einen menschenzentrierten Entwicklungsprozess, Vermittlung von Informationen oder der Analyse des

Arbeitskontextes. Bei der Entwicklung und Einführung von Assistenzsystemen ist die Akzeptanz ein wesentlicher Erfolgsfaktor (Müller, Vette, Mailahn, Ginschel & Ball, 2014). Akzeptanz wird mittels Fragebögen gemessen. Eine Übersicht der gängigen Fragebögen zur Bestimmung der Akzeptanz bieten Venkatesh, Morris, Davis G.B. & Davis F.D. (2003).

Neben der Technikakzeptanz ist bei der erfolgreichen Einführung von technischen Systemen auch die Technikaffinität relevant (Attig et al., 2018). Unter Technikaffinität wird die Tendenz einer Person verstanden, intensiv mit einer Technologie zu interagieren (Franke, Attig & Wessel, 2018). Karrer, Glaser, Clemens & Bruder (2009) erweiterten diese Definition. Sie sehen Technikaffinität als ein Persönlichkeitsmerkmal, dass eine positive Einstellung sowie eine Vertrauenshaltung einer Person gegenüber einer Technologie darstellt und im Zusammenhang zur Technikakzeptanz steht. Attig et al. (2018) untersuchten die Technikaffinität bei der Nutzung von 3D-Druckern im industriellen Kontext und konnten zeigen, dass eine signifikante negative Korrelation zwischen Technikaffinität und mentaler Beanspruchung besteht.

Es gibt verschiedene Modelle der Technikakzeptanz. Die für diese Arbeit relevanten Modelle werden im Folgenden vorgestellt.

2.4.1 Theory of reasoned action

Die Theorie des begründeten/durchdachten Handelns (theory of reasoned action, TRA) gilt als Basismodell aller folgenden Akzeptanzmodelle. Sie wurde erstmals von Fishbein & Ajzen (1975) aufgestellt und stammt aus der Sozialpsychologie. Die TRA zeigt zum einen den Zusammenhang zwischen Überzeugungen (personal beliefs) sowie der persönlichen Haltung eines Menschen auf, zum anderen bietet sie einen ersten Ansatz der Messung von menschlichem Verhalten. Die persönlichen Überzeugungen setzen sich aus Überlegungen zusammen, die der Mensch bezüglich der Konsequenzen seines eigenen geplanten Verhaltens entwickelt. Daraus bildet sich eine persönliche Haltung gegenüber dem geplanten Verhalten aus (attitude toward the behavior). Gleichzeitig führen persönliche Überzeugungen gegenüber der möglichen Bewertung fremder Personen zur Bildung einer subjektiven Norm (subjective norm). Hier stellt sich dem Individuum die Frage, was andere davon halten könnten, wenn es sich tatsächlich so verhält, wie es seine Absicht wäre. Der Mensch entwickelt auf Basis der eigenen Haltung sowie der möglichen Haltung von Dritten eine Intention bzw. eine Absicht (intention), etwas zu tun, voraus ein tatsächliches Verhalten (behavior) resultiert. Die wesentlichen Zusammenhänge der TRA sind in Abbildung 4 dargestellt. Die TRA bezieht sich hierbei noch nicht auf einen festen Nutzungskontext oder ein festes Objekt, für das die Theorie gilt, sondern stellt erst einmal einen allgemeinen Zusammenhang dar (Ajzen & Fishbein, 1980). Davis, Bagozzi & Warshaw (1989)

untersuchten als eine der ersten die TRA im Kontext der Technikakzeptanz, indem sie das Modell der TRA bzgl. eines Textverarbeitungsprogrammes bei MBA-Studenten anwendeten. Hierbei stellten sie fest, dass die persönliche Haltung (attitude toward the behavior) einen signifikanten Einfluss auf die Absicht einer Person hat. Hingegen konnte für das Konstrukt *subjective norm* kein signifikanter Einfluss festgestellt werden. Die Autorenschaft erklärte sich dies u.a. durch die freiwillige und individuelle Nutzung des Textbearbeitungsprogramms. Die Nutzung wurde nicht beeinflusst durch Erwartungen Außenstehender, z.B. anderer Studenten. Die Studie diente gleichzeitig als Vergleich zwischen der TRA und dem Technikakzeptanzmodell, das aus der TRA weiterentwickelt wurde und in Kapitel 2.4.2 näher vorgestellt wird.

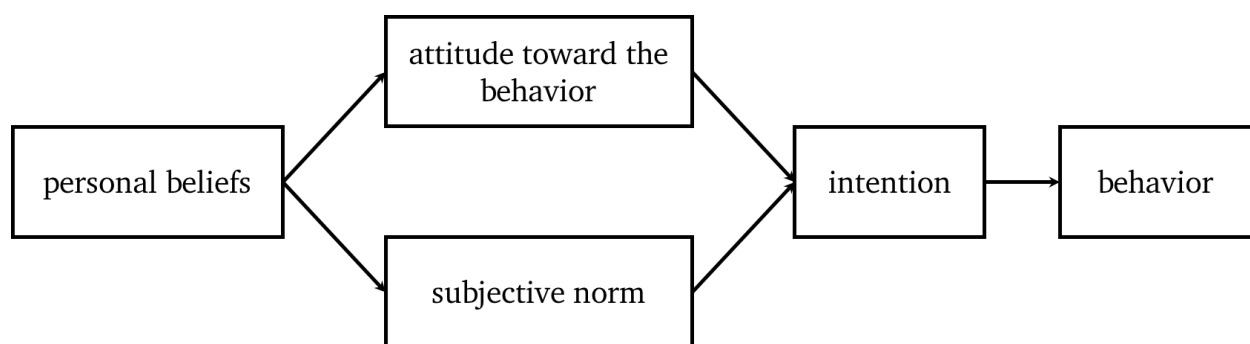


Abbildung 4: Theory of reasoned action, eigene Darstellung nach Ajzen & Fishbein (1980)

2.4.2 Technologieakzeptanzmodell

Das Technologieakzeptanzmodell (TAM) wurde von Davis (1985) im Rahmen seiner Doktorarbeit erstmals vorgestellt. Es basiert auf der TRA und stellt ein Modell zur Erklärung von Systemnutzung im Bereich der Informationstechnologie dar. Für das Modell wurde der sequenzielle Zusammenhang aus der TRA zwischen persönlicher Einstellung (attitude towards using), Absicht (intention to use) und tatsächliches Verhalten (actual system use) beibehalten. Dieser Zusammenhang wurde auf die tatsächliche Nutzung eines technischen Systems angewendet. Im Kontext der Systemnutzung sieht Davis (1986) die persönliche Haltung als Funktion zweier Hauptüberzeugungen, der Einfachheit der Nutzung (ease of use) sowie der wahrgenommenen Nützlichkeit (perceived usefulness). Nach Davis et al. (1989) beschreibt die Einfachheit der Nutzung die Erwartungshaltung zukünftiger Nutzende, inwieweit die Verwendung des zu nutzenden technischen Systems ohne Anstrengungen vonstattengehen kann. Die wahrgenommene Nützlichkeit definiert die Autorenschaft als Wahrnehmung, inwieweit das zu nutzende technische System die Arbeitsleistung einer Person erhöhen kann. Diese Hauptüberzeugungen stellen die Hauptfaktoren bei der Entscheidung dar, ob ein technisches System akzeptiert oder abgelehnt wird, wobei im Kontext der Einführung von innovativen Produkten die Einfachheit der Nutzung eine relevante Rolle spielt (Davis, 1989). Das Modell ist Abbildung 5 zu entnehmen. Die Einfachheit der Nutzung sowie

die wahrgenommene Nützlichkeit werden von externen Variablen beeinflusst (external variables). In einer weiteren Veröffentlichung wurden die externen Variablen konkretisiert auf die Gestaltungsmerkmale technischer Systeme, die die Einfachheit der Nutzung sowie die wahrgenommene Nutzung direkt beeinflussen (Davis, 1993). Im Rahmen weiterer Untersuchungen wurde das TAM erweitert (vgl. Venkatesh & Davis, 2000) und z.B. mit den Faktoren Motivation ergänzt (Venkatesh, Speier & Morris, 2002). Das TAM liefert weiterhin das wesentliche Grundverständnis der Technikakzeptanz. Es wird auf viele Kontexte übertragen und getestet, z.B. im Bereich Verkaufsstrategien von Produkten für Vertriebsmitarbeitende (Robinson, Marshall & Stamps, 2005), bei der Untersuchung von Akzeptanz im Bereich Elektromobilität (Burkhardt, Kühhirt, Golze & Buscher, 2015) oder dem Einsatz von Blockchain-Technologien in der Transportlogistik (Eickemeyer, Halaszovich & Lattemann, 2018). Dies zeigt die Vielfältigkeit der Einsatzmöglichkeiten des TAMs auf. Aufgrund seiner Einfachheit ist das TAM zusätzlich sehr gut für den Einsatz im industriellen Kontext geeignet (Belletier et al., 2019). Hannola et al. (2017) implementierten das TAM für die Bewertung menschenzentrierter Techniklösungen in der Fertigung.

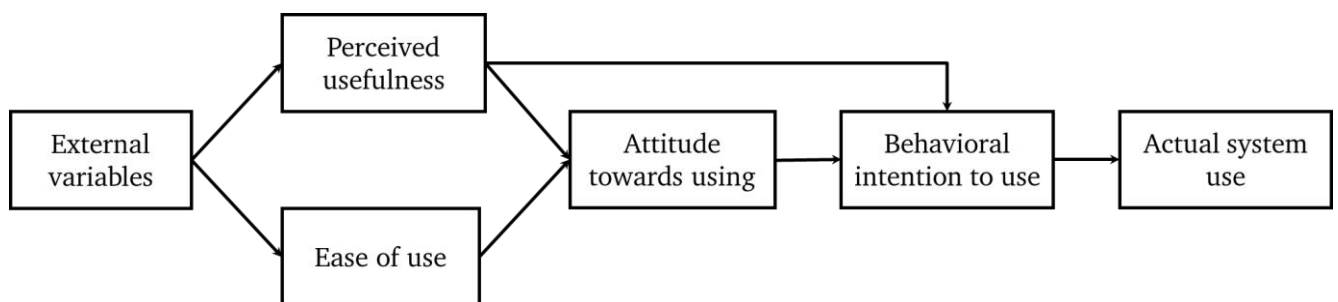


Abbildung 5: Technologieakzeptanzmodell, eigene Darstellung nach Davis et al., 1989)

2.4.3 Theory of planned behaviour

Die Theorie des geplanten Handelns (theory of planned behavior), kurz TPB, wurde von Ajzen (1991) abgeleitet. Grundlage bildet die TRA. Die Zusammenhänge aus dem TRA bleiben bestehen. Es existiert eine individuelle Einstellung bezüglich des geplanten Verhaltens (attitude toward the behavior) sowie die subjektive Norm bezüglich der Bewertung fremder Personen (subjective norm). Die individuelle Einstellung und die subjektive Norm implementierten die Absicht einer Handlung (intention), was zu tatsächlichem Verhalten führt (behavior). Die TRA geht davon aus, dass das Individuum sein Verhalten selbst kontrolliert und das tatsächliche Verhalten nur von persönlichen Überlegungen und eigener Motivation gesteuert wird. In der Realität hat eine Person jedoch häufig keine vollständig willkürliche Kontrolle über sein Verhalten. Die Verfügbarkeit von Ressourcen und Möglichkeiten wie z.B. Zeit, Geld oder Fähigkeiten, die dem Individuum zur Verfügung stehen, bestimmen bis zu einem gewissen Grad

die Wahrscheinlichkeit, dass ein Verhalten erreicht werden kann. Dieser Sachverhalt wird in der TPB unter der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle zusammengefasst (perceived behavioral control). Die Theorie des geplanten Handelns erweitert demnach das Modell der TRA um die wahrgenommene Verhaltenskontrolle und wirkt als weiterer Einflussfaktor zusätzlich auf die Absicht, eine Handlung durchzuführen (vgl. Abbildung 6).

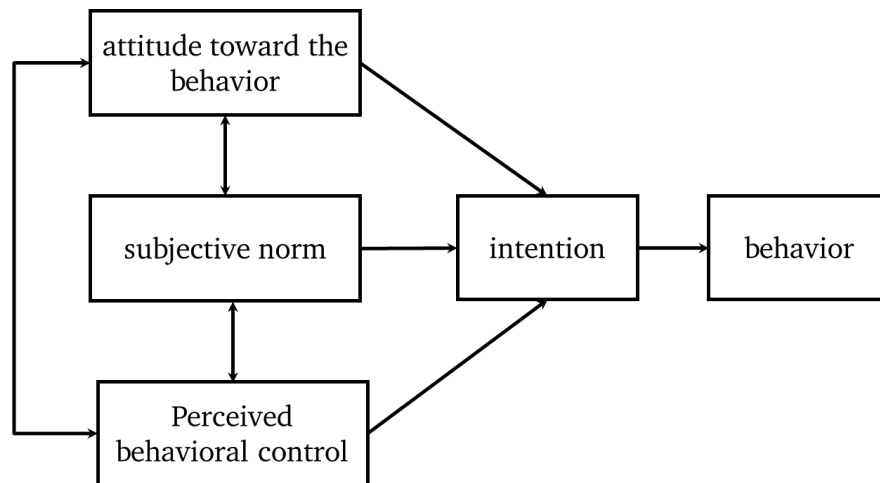


Abbildung 6: Theory of planned behavior, eigene Darstellung nach Ajzen (1991)

2.4.4 Decomposed theory of planned behavior

Die *decomposed theory of planned behavior* (DTPB), zu Deutsch die zerlegte Theorie des geplanten Handelns, wurde von Taylor & Todd (1995) entwickelt. Diese Theorie kombiniert die *theory of planned behavior* mit dem Technologieakzeptanzmodell, ebenfalls bezogen auf den Kontext der Nutzung eines innovativen technischen Systems. Wie im TBP und TAM angenommen, bedingt auch hier die Absicht eines geplanten Handelns bzw. einer geplanten Nutzung eines innovativen Produktes (behavioral intention) ein tatsächliches Nutzungsverhalten (usage behavior). Die Absicht, etwas zu nutzen wird auch im DTPB von den Faktoren Einstellung zur Nutzung (attitude), der subjektiven Norm (subjective norm) sowie der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle (perceived behavioral control) beeinflusst. Im Gegensatz zur TBP sowie dem TAM zerlegt die *decomposed theory of planned behavior* diese drei Dimensionen in konkrete persönliche Überzeugungen, die aus dem Bereich der Innovationsforschung abgeleitet wurden. Dies bietet im Gegenteil zum TAM die Möglichkeit, die Nutzung von Informationstechnologie noch genauer zu untersuchen. Die Innovationsforschung beschäftigt sich mit der Förderung und Verbreitung von Innovationen in unterschiedlichen Disziplinen z.B. im Bereich der Rechts- oder Sozialwissenschaften (Sauer D. & Lang, 1999). Das Modell zur *decomposed theory of planned behavior* wird in Abbildung 7 aufgezeigt.

Persönliche Überzeugungen, die auf die Einstellung zur Nutzung (attitude) wirken, sind zum einen die schon bekannten Faktoren der wahrgenommenen Nützlichkeit (perceived usefulness) sowie der Einfachheit der Nutzung (ease of use). Zum anderen wurde aus der Innovationsforschung der Faktor Kompatibilität übernommen (compatibility). Hierunter wird der Grad verstanden, wie gut oder schlecht eine Innovation den persönlichen Einstellungen, früheren Erfahrungen sowie aktuellen Bedürfnissen von Personen entspricht, die die Innovation nutzen wollen (Rogers, 2003). Hinsichtlich der subjektiven Norm konkretisierten Taylor & Todd (1995) die Personengruppen, die eine Relevanz für die Bildung der subjektiven Norm im Arbeitskontext haben könnten und teilten diese in Kollegen (peer influence) und Vorgesetzte (superior influence) ein. Bei der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle kristallisierten sich drei Dimensionen der Innovationsforschung heraus, die Selbstwirksamkeit (self-efficacy), die sich auf die wahrgenommenen Fähigkeiten einer Person bezieht, sowie erleichternde Rahmenbedingungen, die dem Individuum bei der Nutzung eines Produktes zur Verfügung stehen. Diese Rahmenbedingungen bezeichnen zum einen Ressourcen wie z.B. Geld und Zeit (resource facilitating conditions) zum anderen Technologieparameter, die die Nutzung eventuell einschränken könnten (technology facilitating conditions). Laut Taylor & Todd (1995) ist das DTPB- Modell durch die Konkretisierung der persönlichen Überzeugungen bezüglich Systemnutzung gut für die Untersuchung innovativer Produkte im Arbeitskontext geeignet, da die Theorie konkrete Ansatzpunkte liefert, warum eine Technologie akzeptiert oder abgelehnt wird.

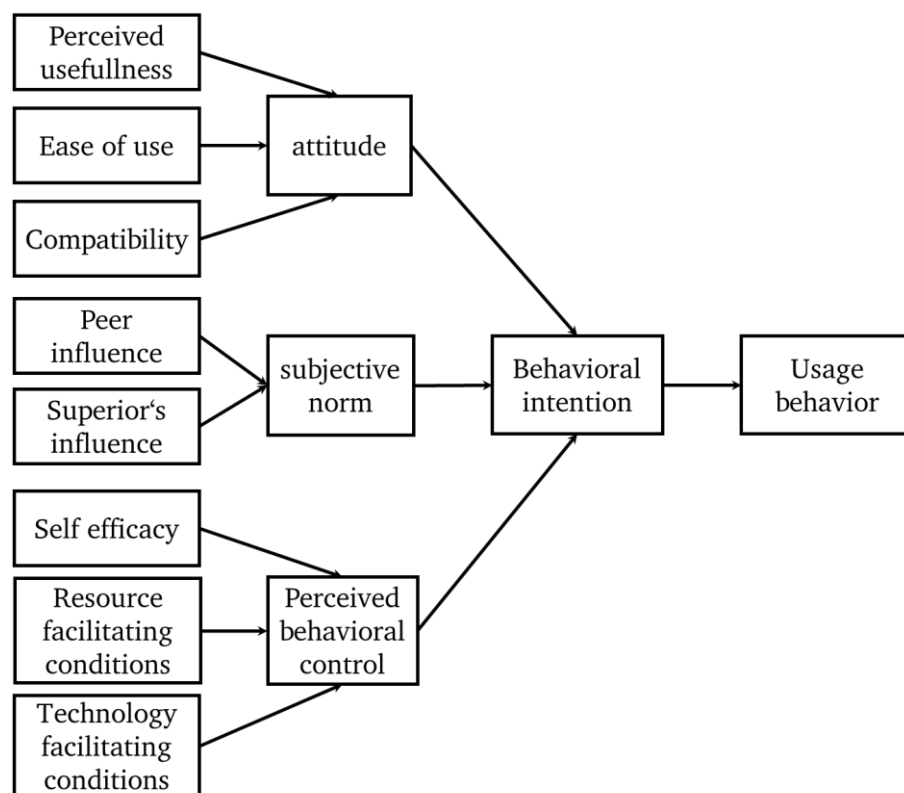


Abbildung 7: Decomposed theory of planned behavior, eigene Darstellung in Anlehnung an Taylor & Todd (1995)

Der Überblick der Theorien zur Technikakzeptanz hat gezeigt, dass das Technikakzeptanzmodell sowie die *decomposed theory of planned behavior* die relevantesten Modellansätze zur Untersuchung der Technikakzeptanz von Assistenzsystemen darstellen. Diese werden für die Ableitung des Untersuchungsmodells berücksichtigt.

Nach der Vorstellung der einzelnen Theorien und Modelle werden im folgenden Abschnitt die Erkenntnisse zum Stand der Forschung und Technik zusammengefasst und Forschungsfragen abgeleitet, die im Rahmen dieser Arbeit näher untersucht werden.

2.5 Ableitung von Forschungsfragen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass individualisierbare Assistenzsysteme Anwendungspotenzial zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung aufweisen und Belastungen reduzieren können (Reinhart et al., 2010). Die Literatur zeigt allerdings auf, dass die Art der Individualisierung einen großen Einfluss auf die subjektive Einstellung von Personen hat, die diese technischen Systeme nutzen sollen. Je nachdem, ob die Individualisierung adaptiv oder adaptierbar geschieht, spielen Faktoren wie Systemtransparenz, Nachvollziehbarkeit und Kontrollverlust bei der Bewertung der Assistenzsysteme durch die nutzende Person eine große Rolle (Schaefer et al., 2016, Sauer J. et al., 2013). Um die positiven Aspekte der individualisierbaren Assistenzsysteme anwenden zu können, ist daher die Technikakzeptanz der Anwendenden essentiell (Beuß et al., 2017). Denn nur, wenn die Technologie akzeptiert wird, kann der positive Aspekt der Belastungsreduzierung wirken. Alle Modelle der Technikakzeptanz weisen einen sequenziellen Zusammenhang unterschiedlicher menschlicher Faktoren auf. Als Eingangsgrößen fungieren persönliche Überzeugungen gegenüber Technik, Ressourcen sowie organisatorischer und sozialer Umwelt (Taylor & Todd, 1995). Diese bedingen eine Einstellung gegenüber einer Techniknutzung, was zu einer Nutzungsabsicht und schließlich zu einem tatsächliches Nutzungsverhalten führt (Fishbein & Ajzen, 1975).

Eine konkrete Bewertung unterschiedlicher Automatisierungsgrade von Assistenzsystemen in der Montage, nachfolgend auch Individualisierungsgrade genannt, wurde noch nicht durchgeführt. Weiterhin wurde der Einfluss dieser Automatisierungsgrade auf die Technikakzeptanz noch nicht näher untersucht. Gerade die Betrachtung eines Individualisierungsgrades, der die adaptive und die adaptierbare Anpassung miteinander kombiniert, wurde noch nicht betrachtet.

Bei der Untersuchung von Belastung sowie der subjektiven Einschätzung der Technikakzeptanz ist das subjektive Anstrengungsempfindens als individuelle Beanspruchungsgröße zu berücksichtigen. Denn nur, weil objektiv betrachtet eine Belastungsreduzierung nachzuweisen ist, muss diese nicht als solche

empfunden werden. Außerdem ist interessant, inwieweit die empfundene Beanspruchung einen Einfluss auf die Technikakzeptanz als gesamtes Konstrukt besitzt. Dieser Zusammenhang wurde in wissenschaftlichen Fragestellungen noch nicht beantwortet.

Es leiten sich daraus vier Forschungsfragen ab, die diese Arbeit untersuchen möchte:

1. Gibt es einen Unterschied hinsichtlich der Belastung, dem subjektiven Anstrengungsempfinden sowie der Technikakzeptanz zwischen unterschiedlichen Individualisierungsgraden eines individualisierbaren Assistenzsystems in der Montage?
2. Besteht ein Zusammenhang zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden sowie der Technikakzeptanz bei der Nutzung individualisierbarer Assistenzsysteme?
3. Kann ein Zusammenhang zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden sowie relevanten persönlichen Überzeugungen, die als Eingangsgrößen der Technikakzeptanz identifiziert wurden, festgestellt werden?
4. Haben ausgewählte Persönlichkeitsmerkmale einen Einfluss auf das subjektive Anstrengungsempfinden und die Technikakzeptanz?

Diese Forschungsfragen werden anhand der Untersuchung von verschiedenen Individualisierungsgraden näher betrachtet. Der dafür notwendige individualisierbare Arbeitsplatz wird im Folgenden näher erläutert.

3 Aufbau und Funktionsweise des individualisierbaren Steharbeitsplatzes

Zur Überprüfung der aufgestellten Forschungsfragen dient als individualisierbares Assistenzsystem ein Steharbeitsplatz für Montagetätigkeiten, der im Rahmen eines Forschungsprojektes am Institut für Arbeitswissenschaft entwickelt wurde. Im Folgenden wird der Aufbau des Arbeitsplatzes sowie die Funktionsweise der einzelnen Individualisierungsgrade näher erläutert. Abschließend werden die Benutzungsoberflächen vorgestellt, die für die Mensch-Maschine-Interaktion notwendig sind.

3.1 Komponenten des Steharbeitsplatzes

Das zu untersuchende Assistenzsystem ist ein Einzelarbeitsplatz, der sich je nach Individualisierungsgrad über anthropometrische Daten an die nutzende Person anpasst. Der Arbeitsplatz ist für eine stückweise feinmotorische Montage konstruiert und besteht aus einem Montagetisch und einer Bereitstellungsebene, in der auf zwei Höhen im Abstand von 250 mm das Montagematerial der Arbeitsperson über Greifbehälter zur Verfügung gestellt wird. Unter der stückweisen Montage wird das Fügen des gesamten Produktes in mehreren Montagevorgängen verstanden, diese Montageart stellt den am meisten verbreiteten Anwendungsbereich in der Produktion dar (Lotter, 2012). Die Mensch-Maschine-Interaktion des Assistenzsystems erfolgt zum einen über ein RFID-Kartenlesegerät und der dazugehörigen Karte, zum anderen über einen Laptop mit Touch-Bildschirm, der als Benutzungsoberfläche dient.

RFID (radio-frequency identification) ist eine Technologie, die auf Basis von Funk- bzw. Radiowellen eine kontaktlose Übertragung von Daten zwischen einem Transponder und einem Lesegerät ermöglicht, wobei beide Teile eine Antenne zum Senden und Empfangen der Daten sowie einen Chip zur Verarbeitung der Wellen enthalten (Kern, 2007). Für das Assistenzsystem wird als Transponder eine Plastikkarte genutzt, auf der die notwendigen personenbezogenen Daten gespeichert sind.

Auf dem Laptop ist das Steuerungsprogramm zur Einstellung der Aktoren installiert, das im Rahmen einer studentischen Arbeit entwickelt wurde (vgl. Meiniger, Mihm, Lee, Philipp & Wang, 2016). Der Montagetisch beinhaltet eine steuerbare Hubsäule zur Höhenverstellung. Die Materialbereitstellung enthält ebenfalls eine Hubsäule zur Höhenverstellung sowie einen Linearantrieb, der die Materialebene in horizontaler Ebene zum Montagetisch hin- oder vom Montagetisch weg verfährt. Somit kann die Materialebene auf den Greifraum der nutzenden Person eingestellt werden. Durch die Hubsäule erfolgt die Höheneinstellung der gesamten Materialbereitstellungsebene. Eine separate Einstellung beider Höhen, auf denen die Greifbehälter abgestellt sind, erfolgt nicht. Der gesamte Aufbau des individualisierbaren Steharbeitsplatzes ist in Abbildung 8 dargestellt.

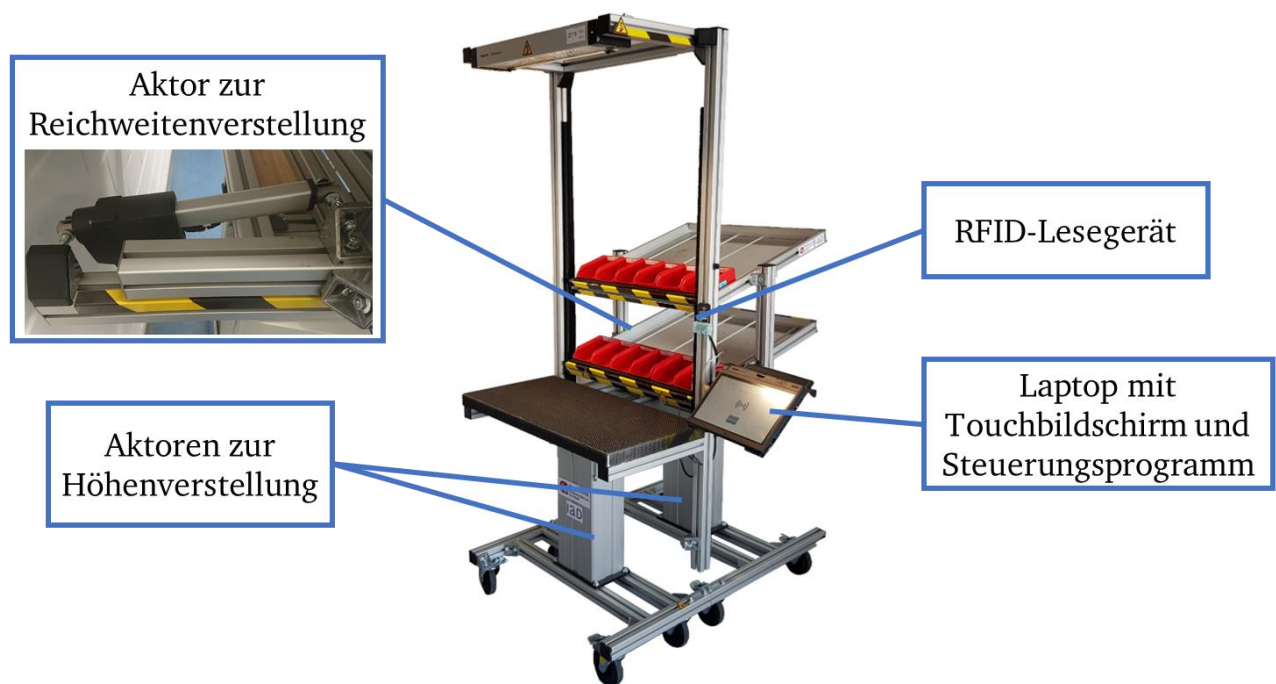


Abbildung 8: Aufbau des individualisierbaren Montagearbeitsplatzes

3.2 Berechnung zur Einstellung der Aktoren

Zur Einstellung der Höhe und Reichweite nach vorn entsprechend der Körpermaße der Versuchspersonen (Individualisierungsgrad *automatisierte Adaption* und *automatisierte Adaption mit Nachjustierung*) sind Berechnungsformeln notwendig, anhand derer das Steuerungsprogramm die Positionswerte für die Aktoren bestimmt. Diese wurden mittels geometrischer Zusammenhänge zwischen Arbeitshöhe, Greifraum und den anthropometrischen Daten im Rahmen einer studentischen Arbeit von Meiniger et al. (2016) hergeleitet.

Die Anpassung des Arbeitsplatzes an die nutzende Person erfolgt anhand der anthropometrischen Daten Körperhöhe (K), Körpertiefe (KT) und Reichweite nach vorn (RW) (vgl. Abbildung 9). Diese Daten werden auf einer RFID-Karte gespeichert. Das Steuerungsprogramm des Arbeitsplatzes liest die Daten der RFID-Karte aus, sie verbleiben auf der Karte und werden nicht innerhalb des Steuerungsprogramms gespeichert. Sind die Daten eingelesen, wird je nach Individualisierungsgrad die Einstellung der Aktoren initiiert.

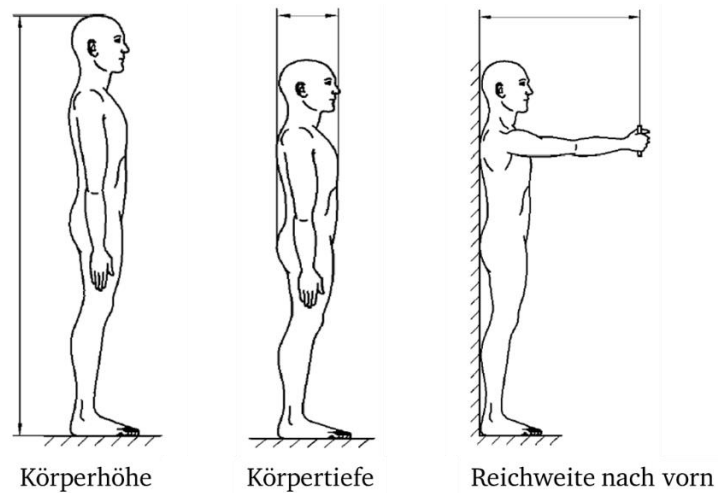


Abbildung 9: Darstellung der anthropometrischen Maße zur adaptiven Einstellung nach (DIN EN ISO 33402-2)

3.2.1 Höhenverstellung

Für die Formel der Höhenverstellung für den Montagetisch wurde der Zusammenhang von Arbeitshöhe (H_2), Arbeitsflächenhöhe (A_H) und Arbeitsstellenhöhe (C) nach (DIN EN ISO 33406) als Basis herangezogen (vgl. Abbildung 10):

$$A_H = H_2 - C \quad (1)$$

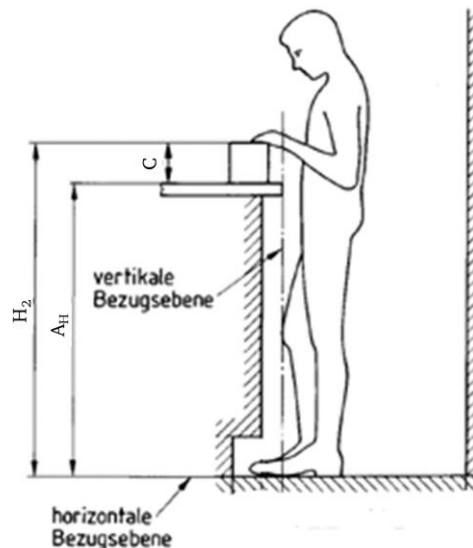


Abbildung 10: Abmessungen für Steharbeitsplätze nach DIN EN ISO 33406

Zur Herleitung der Berechnungsformel wurde das Verhältnis von Arbeitshöhe (H_2) und Körperhöhe für das 5. Perzentil und 95. Perzentil für Mann und Frau ermittelt

$$V_H = \frac{H_2}{K} \quad (2).$$

Die Werte für die einzelnen Perzentile sind DIN EN ISO 33402-2 entnommen. Die Berechnung ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Berechnung des Verhältnisses von Arbeitshöhe und Körperhöhe

Perzentil	H ₂ (mm)	K (mm)	V _H
5. Perzentil Frau	1000	1535	0,65
95. Perzentil Frau	1150	1720	0,67
5. Perzentil Mann	1100	1650	0,67
95. Perzentil Mann	1250	1855	0,66

Der Mittelwert des Verhältnisses ergibt gerundet auf die zweite Nachkommastelle 0,66. Nach Umstellung von (2) nach H₂ mit V_H = 0,66 sowie Einsetzen in (1) ergibt sich für die Berechnungsformel zur Einstellung der Arbeitsflächenhöhe:

$$A_H = 0,66 \times K - C \quad (3)$$

Da in der Studie eine Legoplatte mit vernachlässigbarer Höhe zur Montage verwendet wird, kann C für die Studie gleich Null gesetzt werden.

Die Berechnung der Höhe der Materialbereitstellung erfolgt auf Grundlage der Einstellung der Arbeitshöhe (Formel 3). Um zu gewährleisten, dass sich die Materialebene nach vorne und hinten bewegen kann, muss die Einstellung um 300 mm erhöht werden. Dies leitet sich aus der Konstruktion des Steharbeitsplatzes ab. Dieses Maß erlaubt die problemlose Verstellung der Materialbereitstellungsebene in horizontaler Richtung, gleichzeitig entstehen keine gefährlichen Spalten, in denen es zu einer Quetschgefahr der Finger kommen könnte. Außerdem gilt dieses Abmaß auch als Sicherheitsgrenze, um eine Kollision der Materialbereitstellungsebene mit dem Montagetisch zu vermeiden. Eine Unterschreitung des notwendigen Abstandes von 300 mm zwischen Montagetisch und Materialebene bei der manuellen Nachjustierung wird vermieden, indem bei Erreichen dieses Minimalabstandes beide Hubsäulen gleichzeitig automatisiert verfahren.

3.2.2 Einstellung des Greifraums

Für die Bestimmung der Formel zur Berechnung des Greifraums wird analog zur Körperhöhe vorgegangen. Nach Abbildung 11 wird angenommen, dass sich die Armlänge (AL) aus Reichweite nach vorn (RW) und Körpertiefe (KT) zusammensetzt, die Formel dazu lautet:

$$AL = RW - KT \quad (4)$$

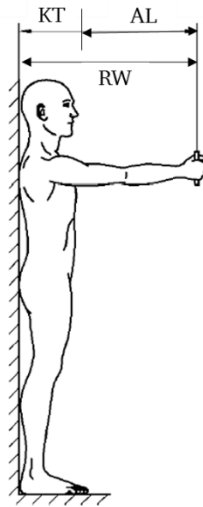


Abbildung 11: Aufteilung der Reichweite nach vorn (RW) in Körpertiefe (KT) und Armlänge (AL), eigene Darstellung
Anlehnung an DIN EN ISO 33402-2

Die Berechnung des Greifraums ergibt sich aus dem Verfahrensweg des Aktors zur horizontalen Einstellung der Materialebene (vgl. Abbildung 8). Aus den sich ergebenden geometrischen Beziehungen beim Stehen nach Abbildung 12 aus den Maßen Armlänge (AL), Greifweite (GW), Arbeitshöhe (H_2), Schulterhöhe (SH), Tischbreite (B) und Verfahrensweg des Aktors (s_A), können folgende Zusammenhänge abgeleitet werden:

$$x = SH - H_2 \quad (5)$$

$$GW = \sqrt{AL^2 - x^2} \quad (6)$$

$$s_A = B - GW \quad (7)$$

Für die Berechnung der Einstellung des Greifraumes wurde das Verhältnis zwischen Greifweite (GW) und Armlänge herangezogen:

$$V_G = \frac{GW}{AL} \quad (8)$$

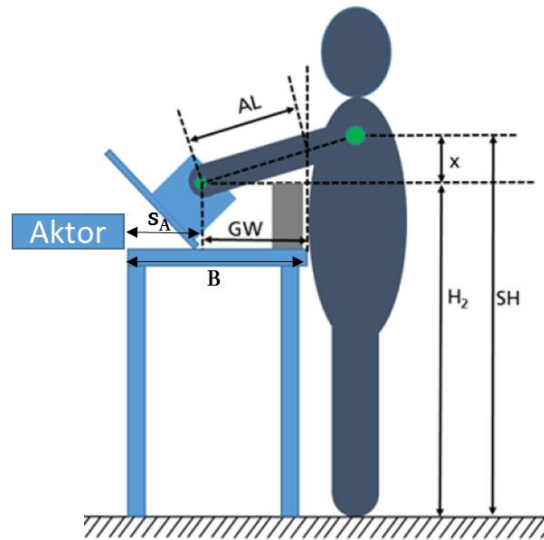


Abbildung 12: Darstellung der geometrischen Beziehungen zur Einstellung des Greifraums, eigene Darstellung in Anlehnung an Meiniger et al. (2016)

Die Berechnung des Verhältnisses ist in Tabelle 2 dargestellt, für die Berechnung von AL, x, GW und V_G wurden die Formeln (4), (5), (6) und (8) herangezogen.

Tabelle 2: Berechnung des Verhältnisses von Greifweite zu Armlänge

Perzentil	H_2^A (mm)	SH^B (mm)	RW^B (mm)	KT^B (mm)	x (mm)	AL (mm)	GW (mm)	V_G
5. Perzentil Frau	1000	1260	625	245	260	380	277,13	0,73
95. Perzentil Frau	1150	1425	750	345	275	405	297,32	0,73
5. Perzentil Mann	1100	1345	685	260	245	425	347,28	0,82
95. Perzentil Mann	1250	1550	815	380	300	435	315	0,72

^A DIN EN ISO 33406)

^B DIN EN ISO 33402-2

Der Mittelwert des Verhältnisses V_G über alle Perzentile beträgt gerundet auf die zweite Nachkommastelle 0,75. Umstellung von Formel (8) nach GW mit $V_G = 0,75$ sowie Einsetzen in (7) ergibt:

$$s_A = B - 0,75 AL \quad (9)$$

Durch Einsetzen von Formel (4) sowie der Tischbreite von 400 mm in (9) ergibt sich die Einstellung des Greifraums mittels

$$s_A = 400 \text{ mm} - 0,75 (RW - KT) \quad (10)$$

3.3 Individualisierungsgrade

Der individualisierbare Steharbeitsplatz ist auf verschiedene Individualisierungsgrade einstellbar:

- ohne Adaption (oA)
- automatisierte Adaption (mA)
- automatisierte Adaption und Nachjustierung (mANJ)
- adaptierbare (individuell einstellbare) Anpassung (A)

Beim Individualisierungsgrad *ohne Adaption* erfolgt die Höheneinstellung des Steharbeitsplatzes nach DIN EN ISO 33406. Die Arbeitshöhe für einen Steharbeitsplatz, an dem sowohl Frauen als auch Männer arbeiten, wird aus dem arithmetischen Mittelwert der Richtwerte für das 5. Perzentil Mann und das 95. Perzentil Frau bestimmt. Nach DIN EN ISO 33406 gelten für Arbeitsanforderungen der mittleren Stufe, unter die das Montieren von kleinen Teilen unter Aufwendung geringer Kräfte fällt, die Richtwerte von 1100 mm Arbeitshöhe für das 5. Perzentil Mann sowie 1150 mm für das 95. Perzentil Frau. Hieraus ergibt sich eine Arbeitshöhe von 1125 mm, auf die der Arbeitsplatz im Zustand ohne Adaption eingestellt werden muss. Die Einstellung des Greifraumes orientiert sich an dem Gestaltungsgrundsatz für den Greifraum, bei dem das 5. Perzentil Frau ausschlaggebend ist (Schmauder & Spanner-Ulmer, 2014). Nach DIN EN ISO 33402-2 beträgt die Reichweite nach vorn für das 5. Perzentil Frau 625 mm. Über die RFID-Karte werden die bestimmte Arbeitshöhe sowie die Reichweite nach vorn an das Steuerungsprogramm des Arbeitsplatzes vermittelt.

Beim Individualisierungsgrad *automatische Adaption* erfolgt die Anpassung anhand der anthropometrischen Daten, die über die RFID-Karte vermittelt werden. Der Arbeitsplatz stellt sich automatisiert auf die vom System mittels der vorgestellten Berechnungsformeln für Höhe und den Greifraum ein. Das Einlesen der Daten mit der RFID-Karte erfolgt durch die nutzende Person, die anschließend die Montagetätigkeit in der vom Steuerungsprogramm eingestellten Höhe und Reichweite durchführt.

Der Individualisierungsgrad *automatisierte Adaption mit Nachjustierung* ist eine Kombination des automatisierten und adaptierbaren Anpassungsgrades. Hier erfolgt zuerst, wie beim Individualisierungsgrad *automatisierte Anpassung*, das Einlesen der RFID-Karte durch die Nutzenden sowie die anschließende automatisierte Einstellung der Aktoren durch das Steuerungsprogramm. Die nutzende Person hat anschließend aber noch die Möglichkeit, die automatisierte Einstellung des Steuerungsprogramms anzupassen. Am Touch-Bildschirm kann zwischen der Ansicht zur Nachjustierung und der Anzeige der Montagetätigkeit von den Nutzenden eigenständig gewechselt werden.

Beim adaptierbaren Individualisierungsgrad sind die Aktoren zu Beginn der Nutzung des Individualisierungsgrades durch die Versuchspersonen in ihrer Startposition, d.h. auf minimale Höhe und maximalen Greifraum, eingestellt. Über den Touch-Bildschirm kann die nutzende Person von Anfang an eigenständig die Einstellungen von Höhe und Reichweite vornehmen. Im Touch-Bildschirm kann jederzeit zwischen Nachjustierung und Anzeige der Montagetätigkeit gewechselt werden. Ein Einlesen mittels RFID-Karte ist nicht notwendig.

3.4 Anzeigeelement Touch-Bildschirm

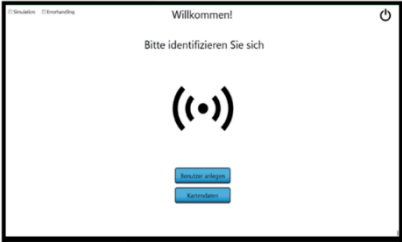
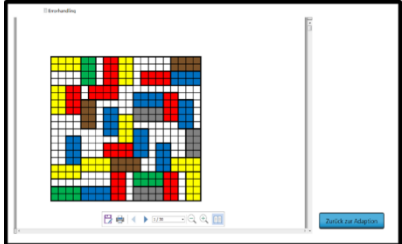

Personen, die den Steharbeitsplatz nutzen, agieren über den Touch-Bildschirm mit dem individualisierbaren System. Je nach Individualisierungsgrad ergeben sich verschiedene Benutzungsoberflächen, die angezeigt werden. Eine Übersicht aller Oberflächen sowie eine Zuordnung zum jeweiligen Individualisierungsgrad zeigt Tabelle 3.

Beim Individualisierungsgrad *ohne Adaption* wird ausschließlich die Montagetätigkeit angezeigt. Die nutzende Person kann die Farbmuster vom Bildschirm ablesen und überträgt das angezeigte Muster auf die vorliegende Legoplatte. Nach Fertigstellung eines Musters kann die nutzende Person selbstständig auf eine andere Anleitung wechseln.

Bei den Individualisierungsgraden *automatisierte Adaption* und *automatisierte Adaption mit Nachjustierung* wird zu Beginn der Tätigkeit eine Anmeldungsmaske angezeigt. Sie fordert die nutzende Person zum Einlesen der RFID-Karte auf. Wird diese auf das RFID-Lesegerät gelegt, erfolgt ein Feedback des Einlesevorgangs mit der Bestätigung, dass die Daten erfolgreich eingelesen wurden und die Karte entfernt werden kann. Für den Individualisierungsgrad *automatisierte Adaption mit Nachjustierung* öffnet sich anschließend die Benutzungsoberfläche zur Nachjustierung der Höhen- und Greifraumeinstellung. Mittels Pfeilbuttons können durch Drücken und Halten die Hubsäulen bzw. der Linearantrieb nach oben und unten bzw. nach vorne und hinten verstellt werden. Im weiteren Verlauf der Interaktion mit dem Assistenzsystem kann zwischen dieser Benutzungsoberfläche und der Montageanleitung gewechselt werden. Bei der automatisierten Adaption folgt nach der Anmeldung direkt der Wechsel zur Benutzungsoberfläche der Montageanleitung.

Bei der adaptierbaren Anpassung wird zu Beginn der Interaktion mit dem Assistenzsystem direkt die Benutzungsoberfläche zur Justierung der Aktoreneinstellung angezeigt. Im weiteren Verlauf der Interaktion kann zwischen dieser Benutzungsoberfläche und der Montageanleitung gewechselt werden.

Tabelle 3: Übersicht der Benutzungsoberflächen für die einzelnen Individualisierungsgrade

Benutzungsoberfläche	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	adaptierbare Anpassung
Anmeldungsmaske 		X	X	
Montageanleitung 	X	X	X	X
Nachjustierung der Einstellungen 			X	X

3.5 Evaluation des Assistenzsystems

Die aufgestellten Berechnungsformeln (3) und (10) zur Einstellung des Steharbeitsplatzes wurden in einer Vorstudie evaluiert. Hierbei wurden die Einstellungen ohne Adaption und mit automatisierter Adaption bezüglich einer möglichen Belastungsreduzierung untersucht (vgl. Rönick, Kremer & Wakula, 2019). Der Individualisierungsgrad *ohne Adaption* wurde mit der automatisierten Anpassung hinsichtlich den Belastungen in Nacken, Rücken sowie linker und rechter Schulter miteinander verglichen. Zur

Bestimmung der Belastung wurden Gelenkwinkel der vier Körpersegmente Nacken, Rücken, Schulter links und Schulter rechts bestimmt. Je nach Höhe und Dauer der eingenommenen Gelenkwinkel können daraus Belastungen abgeleitet werden, diese werden in „akzeptabel“, „bedingt akzeptabel“ und „nicht akzeptabel“ eingeteilt. Die Versuchspersonen führten in den jeweiligen Individualisierungsgraden 30 Minuten eine Montagetätigkeit durch. Insgesamt konnten 20 Datensätze für die Untersuchung der Gelenkwinkel berücksichtigt werden. Es konnte eine Belastungsreduzierung zwischen den Individualisierungsgraden festgestellt werden, diese zeigte sich aber vor allem deskriptiv. Lediglich für den bedingt akzeptablen Bereich des Rückens konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Hieraus lässt sich schließen, dass mit der Einstellung der Aktoren auf die Körpermaße mittels der vorgestellten Berechnungsformeln eine Belastungsreduzierung erreicht werden kann. Die Studie zeigte außerdem auf, dass für sehr große Personen (über 187 cm Körperhöhe) der maximale Verfahrensweg der Aktoren zur Höhenverstellung nicht ausreicht. Dieser Engpass wurde konstruktiv ausgeglichen. Zusätzlich wurde für die Hauptstudie eine höhere Testpersonenzahl angestrebt, um signifikante Ergebnisse zu erreichen.

Um zu vermeiden, dass anhand einer fehlerhaften Gestaltung der Benutzungsoberfläche und ihrer Funktionen die Technikakzeptanz der Person, die den Steharbeitsplatz nutzt, schlechter ausfällt, wurde außerdem eine Usability-Studie zur Untersuchung der Benutzungsoberflächen durchgeführt (vgl. Kremer, 2018). Hierbei wurde der System Usability Scale (SUS) nach Brooke (1996) verwendet. Der Fragebogen verwendet sogenannte Likert-Items. Die Befragten stufen anhand einer Skala von „stimme voll und ganz zu“ bis „lehne voll und ganz ab“ ihre Zustimmung oder Ablehnung der Aussage ein (Borg, I. & Staufenbiel, 2007). Der SUS beinhaltet zehn Aussagen, die anhand einer fünfstufigen Likert-Skala beantwortet werden. Für jede Aussage wird ein Punktwert von 1 bis 5 vergeben, je nach Einschätzung der Befragten. Die Summe aller Punktwerte bildet den SUS-Score (Bangor, Kortum & Miller, 2009). Bei der Bewertung der Benutzungsoberflächen durch 22 Testpersonen, die an der Usability-Studie teilnahmen, wurde ein mittlerer SUS-Score von 84,89 erreicht. Das entspricht nach Bangor et al. (2009) einem exzellenten Ergebnis, die Usability der Benutzungsoberflächen gilt somit als sehr positiv.

Trotzdem ergaben sich beim Ausprobieren der Funktionen einige Probleme bei der Bedienung der Pfeilbuttons, die z.B. zum Absturz des Steuerungsprogramms führten. Diese Probleme wurden behoben. Somit kann der individualisierbare Steharbeitsplatz als Untersuchungsgegenstand für eine empirische Laborstudie dienen. Die Hypothesen zur statistischen Untersuchung der Forschungsfragen sowie die angewandte Methodik werden in den nächsten Kapiteln näher erläutert.

4 Untersuchungsmodell und Hypothesen

Das folgende Kapitel stellt das Untersuchungsmodell vor, dass für die Beantwortung der Forschungsfragen verwendet werden soll. Außerdem wird auf die Leithypothesen eingegangen, die in dieser Arbeit verifiziert werden sollen.

4.1 Ableitung des Untersuchungsmodells

Das Modell ist eine Kombination aus einer angepassten Version des Technikakzeptanzmodells nach Taylor & Todd (1995) und einer Spezifikation des Technostress-Modells nach Adam et al. (2016), die beide in Kapitel 2 erläutert wurden. Die folgenden Unterkapitel gehen auf den allgemeinen Aufbau des Modells sowie wesentliche Einflussfaktoren ein, die im Modell berücksichtigt werden. Anschließend wird das finale Modell in Bezug zu den in Kapitel 2 aufgestellten Forschungsfragen vorgestellt.

4.1.1 Grundlegende Annahmen

Grundlage des Untersuchungsmodells dieser Arbeit bildet das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept von Rohmert (1984) ergänzt durch das Technostress-Modell von Adam et al. (2016), um mögliche Konsequenzen von Beanspruchungen bei der Untersuchung dieser Arbeit berücksichtigen zu können. Die daraus abgeleiteten Zusammenhänge zwischen Belastung, Beanspruchung sowie daraus folgende Konsequenzen werden dem eigenen Untersuchungsmodell zugrunde gelegt (vgl. Abbildung 13).

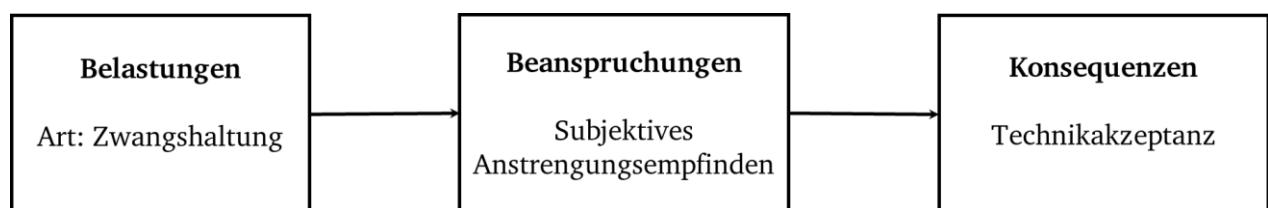


Abbildung 13: Grundlegende Zusammenhänge des Untersuchungsmodells in Anlehnung an Rohmert (1984) und Adam et al. (2016), eigene Darstellung

Die Belastungen bei der Arbeit am Steharbeitsplatz werden durch die auszuführende Tätigkeit bestimmt. Durch die Manipulation von Höhe und Reichweite des Arbeitsplatzes haben die unterschiedlichen Individualisierungsgrade einen Einfluss auf die Belastung der Nutzenden.

Bei der Betrachtung der Beanspruchungen fokussiert man sich, wie schon in Kapitel 2.5 erläutert, auf die Untersuchung des subjektiven Anstrengungsempfindens, da diese von der Person selbst eingeschätzt wird.

Als eine mögliche Konsequenz von Technostress wird im Modell von Adam et al. (2016) die Nutzungszufriedenheit aufgeführt. Bei der Untersuchung der Nutzungszufriedenheit fällt auf, dass diese häufig auch im Zusammenhang mit der Technikakzeptanz genannt wird. So beschreiben Hannola et al. (2017), dass bei Technologien in der Fertigung, deren Ziel die Nutzungszufriedenheit ist, die Akzeptanz dieser technischen Systeme bestimmt werden sollte. Auch Brauer et al. (2015) geben an, dass die Akzeptanz die Zufriedenheit einer Person gegenüber eines technischen Produktes beeinflusst. Harrison & Rainer (1996) entwickelten einen Fragebogen zur Messung von Nutzungszufriedenheit. Die Autorenschaft begründet die Nutzungszufriedenheit mit der Theorie des durchdachten Handelns. Bei der Messung der Nutzungszufriedenheit wird außerdem das Konstrukt *Einfachheit der Nutzung* verwendet. Dies deutet auf eine mögliche Verbindung zwischen Technikakzeptanz und Nutzungszufriedenheit hin. Wixom & Todd (2005) konkretisierten diese Annahme. Die Autorenschaft stellte fest, dass die kombinierte Betrachtung von Technikakzeptanz und Nutzungszufriedenheit die Vorhersage der Nutzungszufriedenheit verbessert, wenn die Technikakzeptanz mit herangezogen wird. Bei einer Studie von Shahreki, Ganesan, Raman, Chin & Chin (2019) wurde ebenfalls eine Untersuchung der Technikakzeptanz auf Basis des Technologieakzeptanzmodelles durchgeführt. Die Autorenschaft ersetzte in ihrem Untersuchungsmodell die Faktoren Nutzungsabsicht (intention to use) und Systemnutzung (system use) aus dem TAM-Modell mit dem Faktor der Nutzungszufriedenheit mit der Begründung, dass das Ergebnis der Technikakzeptanz wie der Nutzungszufriedenheit die Annahme oder Ablehnung einer Technologie bildet. Aus diesen Erkenntnissen kann geschlossen werden, dass sich mit den bekannten Methoden der Technikakzeptanz eine Aussage über die Nutzungszufriedenheit treffen lassen bzw. Akzeptanz und Nutzungszufriedenheit äquivalent betrachtet werden können. Somit kann durch die Bestimmung der Technikakzeptanz auf die Nutzungszufriedenheit geschlossen werden, da beide Faktoren das gleiche Ergebnis, nämlich die tatsächliche Nutzung eines technischen Systems, bewirken (Shahreki et al., 2019). Daher wird die Technikakzeptanz für das eigene Untersuchungsmodell als zu betrachtender Faktor im Kontext der Konsequenzen festgelegt (siehe Abbildung 13).

Wie aus Kapitel 2 ersichtlich, ist die Technikakzeptanz ein Konstrukt aus verschiedenen Faktoren, die durch weitere Modelle erklärt werden können. Daher ist es für die Ableitung des eigenen Untersuchungsmodells notwendig, ein passendes Technikakzeptanzmodell auf Basis der Literatur in Kapitel 2.4 heranzuziehen.

Die automatisierte Anpassung des adaptiven Steharbeitsplatzes kann ein mögliches Gefühl des Kontrollverlustes bei der nutzenden Person auslösen. Gleichzeitig soll die Möglichkeit der individuellen Anpassung eine bessere Kompatibilität der Technik gegenüber den Nutzenden bewirken. Hierbei ist es gleichgültig, ob die Anpassung automatisiert oder durch die nutzende Person selbst geschieht. Daher ist

es sinnvoll, ein Technikakzeptanzmodell auszuwählen, das diese Faktoren berücksichtigt. Somit wurde zur Beschreibung der Technikakzeptanz das Modell von Taylor & Todd (1995) herangezogen, wobei für die eigene Untersuchung Anpassungen vorgenommen wurden. Außerdem wurde das Modell zum besseren Verständnis auf Deutsch übersetzt. Das angepasste Technikakzeptanzmodell zeigt Abbildung 14.

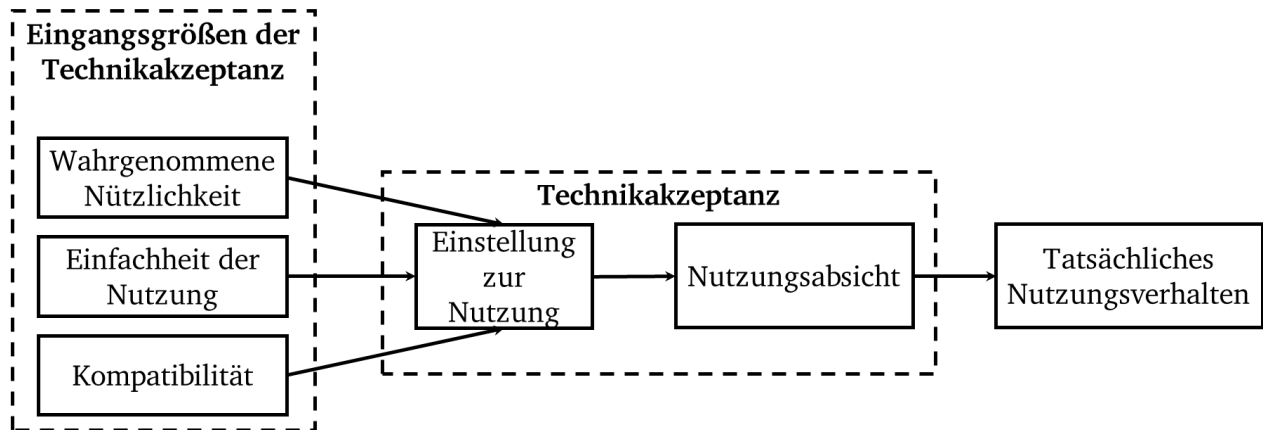


Abbildung 14: Angepasstes Technikakzeptanzmodell nach Taylor & Todd (1995), eigene Darstellung

Für das angepasste Technikakzeptanzmodell wurden die Zusammenhänge zwischen den persönlichen Überzeugungen Einfachheit der Nutzung, wahrgenommene Nützlichkeit und Kompatibilität auf die persönliche Einstellung gegenüber Techniknutzung übernommen. Davis (1993) zeigt auf, dass die Gestaltung der Technik die wahrgenommene Nützlichkeit und die Einfachheit der Nutzung beeinflussen kann. Im Fall der eigenen Untersuchung sind das die Gestaltung der Individualisierungsgrade des Steharbeitsplatzes. Die automatisierte Anpassung des Steharbeitsplatzes hat das Ziel, die Kompatibilität des Arbeitsplatzes gegenüber den Nutzenden zu verbessern. Daher wird auch dieser Faktor aus dem Modell von Taylor & Todd (1995) übernommen.

Wie die Studie von Davis et al. (1989) gezeigt hat, kann kein Zusammenhang zwischen der subjektiven Norm und der Nutzungsabsicht für technische Systeme festgestellt werden, wenn die Nutzung auf individueller und freiwilliger Basis geschieht. Die Beschreibung der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle bei Ajzen (1991) und Taylor & Todd (1995) zeigt, dass dieser Faktor von den Fähigkeiten der benutzenden Person sowie von zur Verfügung gestellten Ressourcen beeinflusst wird. Im Untersuchungskontext gibt es keine Ressourcenlimitation aus monetärer und technologischer Sicht, außerdem sind alle Versuchspersonen mit dem System nicht vertraut und agieren das erste Mal mit einem adaptiven Assistenzsystem. Aus diesen Gründen sind die Konstrukte der subjektiven Norm sowie der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle für die eigene Arbeit nicht relevant.

In den Forschungsfragen sind die Begriffe Technikakzeptanz und Eingangsgrößen der Technikakzeptanz relevant. Für die Beantwortung der Forschungsfragen sowie der Untersuchung der Hypothesen ist die Definition dieser Begriffe notwendig. Daher sind diese Begrifflichkeiten zusätzlich im eigenen Technikakzeptanzmodell gekennzeichnet. Unter den Eingangsgrößen der Technikakzeptanz werden die wahrgenommene Nützlichkeit, die Einfachheit der Nutzung sowie die Kompatibilität verstanden. Die eigentliche Technikakzeptanz wird nach Dethloff (2004) unter den Faktoren „Einstellung zur Nutzung“ und „Nutzungsabsicht“ zusammengefasst.

4.1.2 Weitere Einflussfaktoren

Im Modell von Adam et al. (2016) werden zusätzliche Einflussfaktoren auf der Ebene Technologie, Individuum und Organisation berücksichtigt. Die in Kapitel 2 abgeleiteten Forschungsfragen betrachten nur technologische und individuelle Faktoren und beziehen keine organisatorischen Faktoren mit ein. Diese zwei Arten von Einflussfaktoren werden somit im Untersuchungsmodell berücksichtigt.

Wie bei Adam et al. (2016) erwähnt, verbergen sich hinter der Technologieebene die Individualisierungsgrade eines adaptiven Systems. Dies wird für das eigene Untersuchungsmodell übernommen. Als individueller Einflussfaktor wurde die Technikaffinität identifiziert. Wie schon in Kapitel 2.2 erläutert, stellt diese Größe ein relevantes Persönlichkeitsmerkmal bei der Interaktion mit innovativer Technik dar und sollte bei der Untersuchung des adaptiven Steharbeitsplatzes unbedingt berücksichtigt werden. Arbeitshöhe und Greifbereich standardisierter Arbeitsplätze sind für das 5. bis 95. Perzentil der Mitarbeitenden ausgelegt (Schmauder & Spanner-Ulmer, 2014). Eine Berücksichtigung der individuellen Körpermaße erfolgt nicht. Für Personen, bei denen die genannten Merkmale außerhalb des betrachteten Bereichs liegen, kann eine automatisierte Anpassung anhand der individuellen Körpermaße besonders nützlich sein. Daher wurde als weiterer individueller Einflussfaktor die Anthropometrie in das Untersuchungsmodell aufgenommen.

4.1.3 Untersuchungsmodell

Fasst man die grundlegenden Annahmen aus Abbildung 13 sowie das für den Kontext der Arbeit ausgewählte Technikakzeptanzmodell aus Abbildung 14 zusammen und ergänzt die ausgewählten individuellen und technologischen Einflussfaktoren, wie im vorherigen Textabschnitt erläutert, so ergibt sich das Untersuchungsmodell, das für die Beantwortung der Forschungsfragen (FF) herangezogen wird. Das finale Untersuchungsmodell ist Abbildung 15 zu entnehmen.

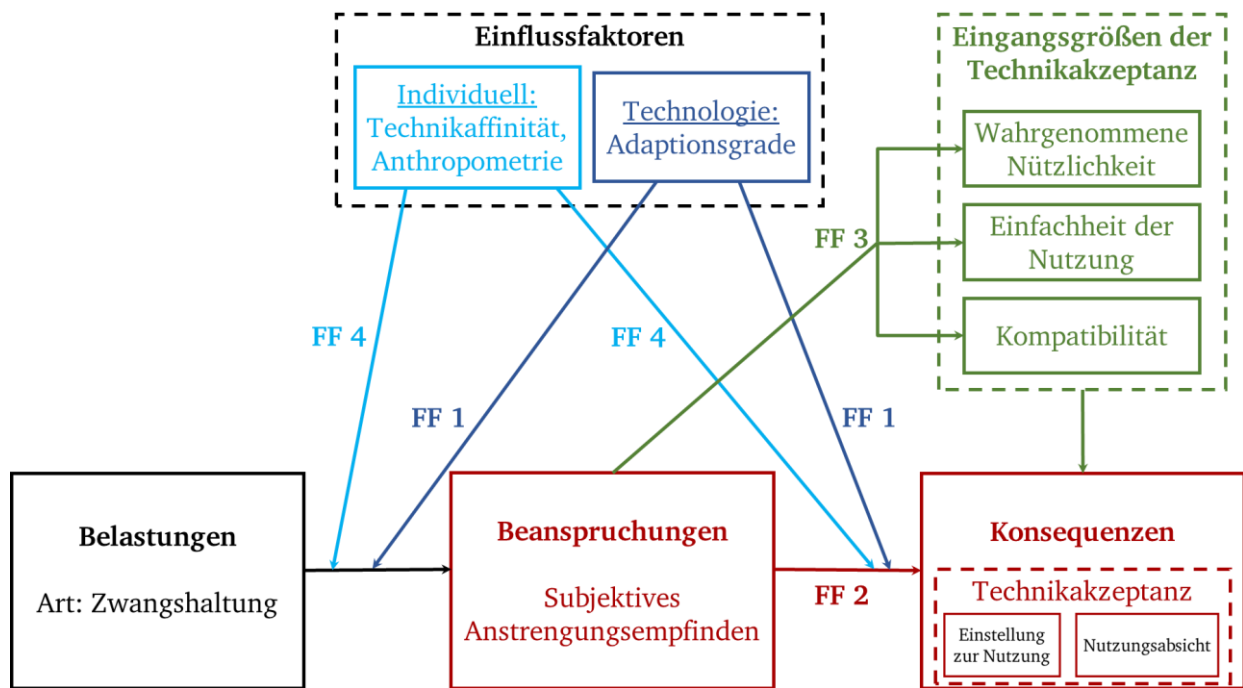


Abbildung 15: Modell zur Untersuchung unterschiedlicher Individualisierungsgrade eines Steharbeitsplatzes, ergänzt um Forschungsfragen (FF), eigene Darstellung

Forschungsfrage eins wird durch die Untersuchung des Einflussfaktors Technologie im Modell abgebildet. Mit dem Zusammenhang zwischen subjektiven Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz, beschäftigt sich Forschungsfrage zwei. Bei der Untersuchung der Technikakzeptanz werden die Konstrukte *Einstellung zur Nutzung* und *Nutzungsabsicht* herangezogen. Mit der Darstellung des Zusammenhangs von subjektiven Anstrengungsempfinden und den Eingangsgroßen der Technikakzeptanz kann Forschungsfrage drei beantwortet werden. Die Berücksichtigung der individuellen Einflussfaktoren Technikaffinität und Anthropometrie spiegelt die Untersuchung von Forschungsfrage vier wieder.

Das dargelegte Modell dient als Grundlage zur Ableitung der Leithypothesen, die im folgenden Kapitel vorgestellt werden.

4.2 Vorstellung der Leithypothesen

Anhand des Untersuchungsmodells, das die aus der Literatur abgeleiteten Forschungsfragen widerspiegelt, wurden unterschiedliche Leithypothesen abgeleitet, die näher untersucht werden. Alle Leithypothesen dieser Arbeit zur Beantwortung der aus der Literatur abgeleiteten Forschungsfragen sind in Tabelle 4 dargestellt. Die Erläuterung der Auswertemethodik zur Untersuchung der Hypothesen erfolgt im nachfolgenden Kapitel. In der Tabelle sind nach Döring und Bortz (2016) ausschließlich die Alternativhypothesen formuliert und als Unterschieds- bzw. Zusammenhangshypothese angegeben.

Tabelle 4: Darstellung der Leithypothesen sortiert nach Forschungsfragen (FF), eigene Darstellung

FF	Nummer	Aussage
1	LH 1.1	Die Belastung unterscheidet sich zwischen den zu untersuchenden Individualisierungsgraden signifikant.
	LH 1.2	Das subjektive Anstrengungsempfinden unterscheidet sich zwischen den zu untersuchenden Individualisierungsgraden signifikant.
	LH 1.3	Die Technikakzeptanz unterscheidet sich zwischen den zu untersuchenden Individualisierungsgraden signifikant.
2	LH 2.1	Es besteht eine signifikante Korrelation zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und der Technikakzeptanz.
3	LH 3.1	Es besteht eine signifikante Korrelation zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und den Eingangsgrößen der Technikakzeptanz.
4	LH 4.1	Die Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens unterscheidet sich hinsichtlich den Persönlichkeitsmerkmalen Technikaffinität und Anthropometrie signifikant.
	LH 4.2	Die Bewertung der Technikakzeptanz unterscheidet sich hinsichtlich den Persönlichkeitsmerkmalen Technikaffinität und Anthropometrie signifikant.

Bezogen auf die erste Forschungsfrage, der Unterscheidung der Individualisierungsgrade hinsichtlich Belastung, subjektivem Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz, wird auf Basis der Untersuchungen von Beuß et al. (2017) und Nguyen, McFarland, Kleinsorge, Krüger & Seliger (2015) erwartet, dass die automatisierte Anpassung eine Belastungsreduzierung hervorruft. Da die unterschiedlichen Individualisierungsgrade sich hinsichtlich Systemtransparenz, Nachvollziehbarkeit und Kontrollmöglichkeit unterscheiden, wird davon ausgegangen, dass sich auch die Technikakzeptanz zwischen den Individualisierungsgraden unterscheidet. Somit sollte sich auch das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen den Individualisierungsgraden unterscheiden.

Für die Beantwortung der Forschungsfrage zwei wird ein Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz angenommen, dies leitet sich aus dem eigenen Untersuchungsmodell ab.

Die Einfachheit der Nutzung ist definiert als den Anstrengungsgrad, den Nutzende bei der Anwendung technischer Systeme erwarten. Da das Anstrengungsempfinden auch eine subjektiv abgeschätzte Variable bildet, wird davon ausgegangen, dass ein Zusammenhang zwischen Anstrengungsempfinden und Einfachheit der Nutzung feststellbar ist. Für die wahrgenommene Nützlichkeit und Kompatibilität wird ebenfalls von einem Zusammenhang ausgegangen, dieser begründet sich aber nur durch die Verkettung von subjektivem Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz aus dem Untersuchungsmodell. Diese Erkenntnisse werden in den Leithypothesen zu Forschungsfrage drei zusammengefasst.

Die Hypothesen zu Forschungsfrage vier leiten sich aus dem aufgestellten Untersuchungsmodell ab. Insbesondere für die Technikaffinität gibt die Studie von Attig et al. (2018) einen Hinweis darauf, dass die Technikaffinität als mögliche Einflussvariable bei der Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens fungieren könnte. Karrer et al. (2009) weisen auf den Einfluss der Technikaffinität auf die Bewertung der Technikakzeptanz hin.

5 Methodik

Zur Untersuchung der in Kapitel 4 aufgestellten Leithypothesen wird eine empirische Laborstudie durchgeführt. Hierbei werden die vier Individualisierungsgrade *ohne Adaption*, *mit automatisierter Adaption*, *automatisierte Adaption* und *Nachjustierung* sowie die *adaptierbare Anpassung*, also von den Nutzenden selbst gewählte Einstellungen, anhand eines individualisierbaren Steharbeitsplatzes betrachtet. Die Individualisierungsgrade werden während der Durchführung einer feinmotorischen Tätigkeit untersucht. Das genaue Studiendesign sowie Hypothesen und Stichprobe sind im Folgenden näher beschrieben. Anschließend wird auf die verwendeten Methoden zur Datenerhebung näher eingegangen. Abschließend wird das Konzept zur Datenauswertung erläutert.

5.1 Versuchsdesign

Die Beschreibung des Versuchsdesigns erfolgt anhand von neun Kriterien nach Montero & León (2007) und Döring & Bortz (2016). Die Autorenschaft unterscheidet die Dimensionen wissenschaftstheoretischer Ansatz, Erkenntnisziel, Studiengegenstand, Datengrundlage, Erkenntnisinteresse, Untersuchungsgruppe und -ort, Anzahl der Untersuchungszeitpunkte sowie Anzahl der Untersuchungsobjekte.

Die durchgeführte Laborstudie zur Überprüfung der Hypothesen verfolgt den quantitativen Ansatz. Anhand abgeleiteter Forschungsfragen und Hypothesen werden strukturiert Daten erhoben und statistisch ausgewertet, um die Hypothesen zu überprüfen. Ziel ist die Untersuchung verschiedener Individualisierungsgrade eines Assistenzsystems hinsichtlich Belastung, subjektiv empfundener Beanspruchung und Technikakzeptanz. Hierbei wird eine empirische Studie durchgeführt. Anhand eines selbstentwickelten individualisierbaren Steharbeitsplatzes werden in einer Laborstudie vier Individualisierungsgrade eines Assistenzsystems mit einer Stichprobe von 55 Versuchspersonen evaluiert. Neben den Individualisierungsgraden *automatisierte Adaption* sowie *adaptierbare Anpassung* wird eine Kombination aus diesen beiden Individualisierungsgraden, die automatisierte Adaption mit Nachjustierung, zusätzlich untersucht. Dieser Individualisierungsgrad kombiniert die Vorteile der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der individuellen Anpassung mit den Vorteilen der automatisierten Anpassung als optimale ergonomische Einstellung. Als Referenz dient der Vergleich der Nutzung des Assistenzsystems ohne Anpassung. Hierbei beruht die Einstellung auf Richtwerten aus der Literatur. Auch bei dieser Studie handelt es sich um eine Untersuchung im *within-subjects-design*. Hierzu führen die Versuchspersonen an zwei Terminen eine simulierte Montagetätigkeit aus, pro Termin werden zwei der insgesamt vier Individualisierungsgraden getestet. Die Montagetätigkeit ist das Stecken von Mustern aus verschiedenfarbigen Legosteinen unterschiedlicher Größe, die auf einer Legoplatte

fixiert werden. Damit wird eine feinmotorische Tätigkeit simuliert. Die folgenden Kapitel gehen näher auf die einzelnen Punkte des Versuchsdesigns ein. Das Versuchsdesign wurde der Ethikkommission der TU Darmstadt vorgelegt und von dieser genehmigt (siehe Anhang B).

5.1.1 Hypothesen

Die aufgestellten Leithypothesen, die in Kapitel 4.2 im Rahmen des Untersuchungsmodells hergeleitet wurden, werden auf Basis der vier Individualisierungsgrade des Untersuchungsgegenstandes konkretisiert. Je nach Leithypothese wurden detaillierte Hypothesen zur Überprüfung der Individualisierungsgrade aufgestellt. Die Formulierung der Zusammenhangs- und Unterschiedshypothesen wird anhand von Leithypothese 1.2 und 3.1 exemplarisch aufgezeigt. Insgesamt wurden 60 Hypothesen aufgestellt, diese sind Anhang A zu entnehmen.

Die Formulierung der Hypothesen für Leithypothese 1.2 hinsichtlich des subjektiven Anstrengungsempfindens sind beispielhaft in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Unterschiedshypothesen zu Leithypothese 1.2

Leithypothese	Hypothese	Aussage
LH 1.2 (6)	H 1.2.1	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad oA und mA unterscheidet sich signifikant $\mu_{oA} \neq \mu_{mA}$
	H 1.2.2	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad oA und mANJ unterscheidet sich signifikant $\mu_{oA} \neq \mu_{mANJ}$
	H 1.2.3	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad oA und A unterscheidet sich signifikant $\mu_{oA} \neq \mu_A$
	H 1.2.4	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad mA und mANJ unterscheidet sich signifikant $\mu_{mA} \neq \mu_{mANJ}$
	H 1.2.5	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad mA und A unterscheidet sich signifikant $\mu_{mA} \neq \mu_A$
	H 1.2.6	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad mANJ und A unterscheidet sich signifikant $\mu_{mANJ} \neq \mu_A$

Bei den im Untersuchungsmodell hergeleiteten Faktoren subjektives Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz testet Leithypothese 1.2 den Unterschied zwischen den einzelnen Individualisierungsgraden in Bezug auf das subjektive Anstrengungsempfinden. Es werden die einzelnen Individualisierungsgrade ohne Adaption (oA), automatisierte Adaption (mA), automatisierte Adaption mit Nachjustierung (mANJ) sowie adaptierbare Anpassung (A) jeweils paarweise verglichen. Es ergeben sich sechs Paarvergleiche, die jeweils in einer Hypothese aufgenommen werden.

Bei der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden und den Eingangsgrößen der Technikakzeptanz nach Leithypothese 3.1 wird der Zusammenhang über alle Individualisierungsgrade getestet. Als wesentliche Eingangsgrößen wurden aus dem Untersuchungsmodell die Faktoren wahrgenommene Nützlichkeit, Einfachheit der Nutzung sowie die Kompatibilität identifiziert. Hieraus ergeben sich drei Zusammenhangshypothesen, die in Tabelle 6 dargestellt sind.

Tabelle 6: Zusammenhangshypothesen zu Leithypothese 3.1

Leithypothese	Hypothese	Aussage
LH 3.1 (3)	H 3.1.1	Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und der wahrgenommenen Nützlichkeit über alle Individualisierungsgrade feststellen.
	H 3.1.2	Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und der Einfachheit der Nutzung über alle Individualisierungsgrade feststellen.
	H 3.1.3	Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und der Kompatibilität über alle Individualisierungsgrade feststellen.

5.1.2 Stichprobe

Für die Durchführung der Studie wurde ein *within-subject-design* verwendet. Bei diesem Design testet jede Versuchsperson alle Individualisierungsgrade. Das Design eignet sich für die Untersuchung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen durch individuelles Verhalten (Charness, Gneezy & Kuhn, 2012). Da im Fall der vorliegenden Untersuchung die Wirkung der Individualisierungsgrade (Ursache) auf die individuellen Faktoren wie subjektives Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz getestet werden soll, ist dieses Design als geeignet zu erachten.

Zur Bestimmung des optimalen Stichprobenumfangs wird Döring & Bortz (2016) herangezogen. In Ermangelung vergleichbarer statistischer Studien zur eigenen Arbeit wird eine mittlere Effektgröße festgelegt, da nach Döring & Bortz (2016) durch die Betrachtung einzelner Variablen Phänomene nur partiell erklärt werden können und sich dadurch geringe bis mittlere Effektgrößen ergeben. Eine geringe Effektgröße würde aber einen sehr hohen Stichprobenumfang bedingen, dies ist im Rahmen der geplanten Studie mit einer geplanten Versuchsdauer von zwei Versuchstagen zu je 2,5 h nicht zu leisten. Zur Überprüfung der Zusammenhangshypothesen wird eine bivariate Korrelation durchgeführt, die Unterschiedshypothesen werden mit einer Varianzanalyse mit Messwiederholung getestet. Da es sich hierbei jeweils um eine abhängige Stichprobe handelt, ergibt sich für ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ nach Döring & Bortz (2016) für die bivariate Korrelation mit einem kleinen Korrelationseffekt ($r = 0,2$) ein Stichprobenumfang von 41 Personen. Für die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung ergibt sich bei vier Freiheitsgraden ($df = 3$) ein Stichprobenumfang von 23 Personen, die viermal untersucht werden sollten. Auf Basis dieser Werte für die einzelnen statistischen Verfahren wird die Mindestteilnehmerzahl für die vorliegende Untersuchung auf 45 Versuchspersonen festgelegt.

Die Versuchspersonen wurden über Aushänge an der TU Darmstadt, persönliche Ansprache sowie die Nutzung der Personendatenbank des Instituts für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt akquiriert. Bei der Auswahl der Testpersonen wurde darauf geachtet, Personen im Alter zwischen 16-65 Jahren für die Teilnahme an der Studie zu gewinnen, was im Nutzungskontext der Montage das Arbeitnehmeralter widerspiegelt, ansonsten wurde die Stichprobe zufällig gewählt.

5.2 Datenerhebung

Zur Erhebung der benötigten Daten für die Laborstudie werden zum einen ein Bodyscanner zum Auslesen der Körpermaße und zum anderen ein Motion-Capture-System zur Messung der Belastungen ausgewählter Körpersegmente verwendet. Zur Ermittlung von Technikaffinität, der Technikakzeptanz sowie dem subjektiven Anstrengungsempfinden wurden unterschiedliche Fragebögen eingesetzt. Eine genaue Beschreibung dieser Methoden findet sich in den folgenden Unterkapiteln. Alle Daten wurden anonymisiert erhoben, sodass kein Rückschluss auf einzelne Versuchspersonen möglich ist. Die Datenschutzgrundverordnung wurde berücksichtigt (vgl. Anhang B).

5.2.1 Bodyscanner

Zum Ermitteln der Körpermaße, die für die adaptive Einstellung des Steharbeitsplatzes benötigt werden, wurden die Versuchspersonen im Bodyscanner des Instituts für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt vermessen. Der 3D – Bodyscanner der Firma Human Solutions scannt mittels optischer Triangulation die

Oberfläche des menschlichen Körpers und bildet diese dreidimensional ab. Bei der optischen Triangulation werden mithilfe eines Lasers die Abstände zwischen einer Oberfläche und einem Detektor gemessen (Löffler-Mang, 2012). So kann die gesamte Geometrie der Oberfläche erfasst werden. Die Software „Anthroscan“ vom gleichen Hersteller digitalisiert diese dreidimensionale Abbildung. Nach Glättung der Oberfläche ist mittels Ebenen- und Punktplatzierungen in der Software die Berechnung relevanter Körpermaße möglich (Human Solutions GmbH, 2009).

5.2.2 Motion-Capture-System

Für die Aufnahme der Belastungen wird das Motion-Capture-System Captiv der Firma TEA verwendet. Mit dem System ist es möglich, Bewegungsdaten aufzunehmen und auszuwerten. Die Aufnahme erfolgt durch Intertialsensoren (siehe Abbildung 16), die mittels eines Haltegurtes an die zu messenden Körperbereiche angebracht werden. Die Sensordaten werden kabellos an einen Receiver der Firma TEA in Echtzeit vermittelt und aufgezeichnet. Die von TEA bereitgestellte Analysesoftware greift auf diese Daten zu und ermöglicht die quantitative und qualitative Auswertung der Sensordaten. So ist es möglich, Winkel, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen der ausgeführten Bewegungen zu bestimmen. Die Rohdaten sowie die Auswertungen können als CSV-Datei (Textdatei) ausgelesen und so in weiteren Programmen bearbeitet werden. Während der Untersuchung kann die Aufzeichnung der Motion-Capture-Daten über einen Avatar verfolgt werden, der die Bewegungen darstellt.



Abbildung 16: Intertialsensoren des Messsystems (eigene Darstellung)

Nach der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2019) hat die Belastung durch eine Zwangshaltung hauptsächlich Auswirkungen auf die Körperregionen Nacken, Schulter, Rücken, Hüfte, Knie und Füße. Da Costa & Vieira (2010) geben an, dass ein Risikofaktor für mögliche Erkrankungen des Nackens in ungünstigen Körperhaltungen liegen kann. Nach van Rijn, R. M., Huisstede, B. M., Koes, B. W. & Burdorf (2010) liegen Ursachen der Erkrankungen der Schulter bei wiederkehrenden dynamischen Bewegungen in kritischen Gelenkwinkelbereichen. Im beruflichen Kontext können durch Belastungen der unteren Extremitäten vor allem Erkrankungen der Kniegelenke auftreten, eine häufige Berufskrankheit ist hier die Kniegelenksarthrose (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin,

2019). Nach McWilliams, Leeb, Muthuri, Doherty & Zhang (2011) wird diese Erkrankung häufig durch Knien, Hocken, Heben und Tragen bedingt, Stehen hat einen sehr geringen Einfluss auf diese Erkrankungen. Van Oostrom, Verschuren, Vet, Boshuizen & Picavet (2012) untersuchten Zusammenhänge zwischen physischen Belastungen und Erkrankungen des Rückens. Die Autorenschaft identifizierte ungünstige Haltungen bzw. Zwangshaltungen als einen wesentlichen Belastungsfaktor, der chronische Rückenschmerzen hervorrufen kann.

Diese Erkenntnisse werden zur Auswahl der Gelenkwinkel, die mit Captiv gemessen werden sollen, herangezogen. Durch den individualisierbaren Arbeitsplatz, der in dieser Dissertation Untersuchungsgegenstand ist, wird die Haltungsart dauerhaftes bzw. gebeugtes Stehen sowie wiederkehrende Bewegungen des Hand-Arm-Systems initiiert. Für die Untersuchung ist damit die Betrachtung der Gelenkwinkel von Nacken, Schulter und Rücken relevant. Um die Gelenkwinkel mittels Captiv zu bestimmen, wurden sieben Intertialsensoren verwendet, die jeweils am linken und rechten Ober- und Unterarm sowie an Kopf, Hüfte und Rücken der einzelnen Testpersonen befestigt wurden. Abbildung 17 zeigt die Befestigung der Captiv-Sensoren auf. Anschließend erfolgte die Kalibrierung der Sensoren. Hierfür stellte sich jede Versuchsperson gerade mit an den Körper angelegten Armen und Blick nach vorne auf. Die Position der Sensoren wird als Referenzwert für die spätere Messung im Captiv-System gespeichert.

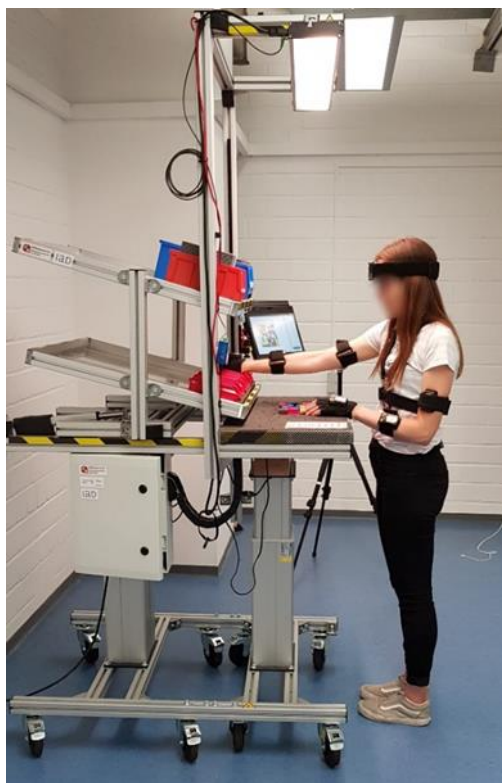


Abbildung 17: Versuchsperson mit Motion-Capture-Sensoren am Steharbeitsplatz

Die Gelenkwinkel werden über die gesamte Dauer der Testung der Individualisierungsgrade durch die Versuchspersonen (je 45 Minuten) kontinuierlich gemessen. Eine Einteilung der Gelenkwinkelgrößen nach DIN EN 1005-4 in „akzeptabel“, „bedingt akzeptabel“ und „nicht akzeptabel“ sowie die ermittelten Zeitanteile der Gelenkwinkel über die gesamte Zeit lässt auf die Belastungen schließen, näheres hierzu in Kapitel 5.4.

5.2.3 Daten zur Person

In der vorliegenden Studie werden drei verschiedene Befragungen der Versuchspersonen zu Technikaffinität, subjektives Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz durchgeführt. Zu Beginn der Befragung der Technikaffinität wurden außerdem noch drei Fragen zur Person gestellt: die Angabe von Geschlecht bzw. Diversität und Geburtsjahr sowie die Häufigkeit von Stehen im beruflichen Kontext. Für die Ermittlung der Häufigkeit stand den Teilnehmenden eine vierstufige Antwortskala von „häufig“, „manchmal“, „selten“ und „nie“ zur Verfügung. Diese Frage sollte überprüfen, wie relevant das Stehen im eigenen Arbeitskontext ist. Die Fragen wurden über das Onlinetool SoSci-Survey als Onlinefragebogen den Versuchspersonen zur Verfügung gestellt, die Darstellung der Fragen ist Anhang G zu entnehmen.

5.2.4 Fragebogen zur Bestimmung der Technikaffinität

Zur Messung der Technikaffinität wird der TA-EG-Fragebogen von Karrer et al. (2009) herangezogen. Er besteht aus 19 Frageitems und misst Begeisterung, Kompetenz, negative Einstellung sowie positive Einstellung einer Person gegenüber elektronischen Geräten. Bei dem TA-EG-Fragebogen wird eine fünfstufige Likert-Skala verwendet, diese Skala reicht von „trifft gar nicht zu“ bis „trifft voll zu“. Die Aussagen werden mit einem Einführungstext eingeleitet, in dem der Begriff elektronische Geräte näher erläutert wird. Der Fragebogen wurde in zwei Studien auf Reliabilität und Validität getestet und weist in der finalen Version eine angemessene interne Konsistenz sowie eine solide Faktorenstruktur auf. Der Fragebogen ist mit 19 Aussagen zur Affinität elektronischer Geräte schnell und einfach auszufüllen.

Der Fragebogen wurde als Onlinefragebogen mittels des Programms SoSci-Survey erstellt und vor den Terminen zur Versuchsdurchführung den Testpersonen zum Ausfüllen als Onlinelink per Email zugesandt. Die Nutzung eines Onlinefragebogens hat den Vorteil, dass Daten direkt digital gespeichert und weiterverarbeitet werden können, ein Fehler bei der Übertragung eines Papierfragebogens in die gewünschte Auswertesoftware wird außerdem vermieden. Um zu überprüfen, ob die Versuchsperson den TA-EG-Fragebogen vor Beginn der Untersuchung ausgefüllt hat, wurden Referenznummern vergeben, die das SoSci-Survey-Programm über den Onlinelink identifiziert. So konnte der ausgefüllte

Fragebogen einer Studienperson zugeordnet werden, ohne die Anonymisierung der Erhebung und Verarbeitung der Daten zu verletzen. Der vollständige Fragebogen findet sich in Anhang G.

5.2.5 RPE-Skala zur Messung des subjektiven Anstrengungsempfindens

Die „scale for rating of perceived exertion“ (RPE-Skala) von G. Borg (1970) ist eine 14-stufige Skala zur Bewertung von subjektivem Anstrengungsempfinden. Die Skala reicht von 6-20, dies entspricht „überhaupt nicht anstrengend“ bis „maximale Anstrengung“ (siehe Abbildung 18). Diese Skala orientiert sich am Herzschlag eines Menschen und entspricht 60-200 Schläge pro Minute, ein linearer Zusammenhang zwischen der RPE-Skala und der Herzschlagrate konnte nachgewiesen werden (Borg G., 1982). Neben der Nutzung im medizinischen Kontext, z.B. bei Herzpatienten, wird die RPE-Skala bei epidemiologischen und ergonomischen Studien zur Bewertung von Arbeitsaufgaben verwendet und stellt in diesem Kontext eine wichtige und informative Ergänzung zu physiologischen Messungen dar (Borg G., 1990). Vorteile der RPE-Skala ist das leichte Verständnis sowie die einfache Nutzung und Interpretation der Daten (Borg, E. & Kaijser, 2006).

Die Borg-Skala mit einer Anleitung zur Anwendung nach G. Borg (2004) findet sich in Anhang F. Die Skala wurde zu Beginn jedes Studientermins den Versuchspersonen vorgestellt, außerdem lag am Montagearbeitsplatz die Skala mit den Beschreibungen aus, wie in Abbildung 18 dargestellt. Das subjektive Anstrengungsempfinden wurde in Anlehnung an die Belastungsmessung durch das Motion-Capture-System ebenfalls über die ganze Erhebungszeit aufgenommen. Für jeden Individualisierungsgrad wurde das subjektive Anstrengungsempfinden während der 45-minütigen Testphase alle 7,5 Minuten abgefragt, um einen zeitlichen Verlauf und somit eine genauere Beschreibung des subjektiven Anstrengungsempfindens zu erhalten. Dieses Zeitintervall wurde in einem Pretest mit vier Testpersonen untersucht, hierbei wurden die Intervalle 15 min und 7,5 min miteinander verglichen. Es zeigte sich, dass ein Zeitintervall von 7,5 min einen genaueren Verlauf des subjektiven Anstrengungsempfindens darstellt und gleichzeitig die Versuchspersonen durch das Abfragen der Skala nicht zu sehr stört oder von der eigentlichen Tätigkeit ablenkt.

<u>RPE-Skala nach Borg</u>	
6	überhaupt nicht anstrengend
7	extrem leicht
8	
9	sehr leicht
10	
11	leicht
12	
13	etwas anstrengend
14	
15	anstrengend schwer
16	
17	sehr anstrengend
18	
19	extrem anstrengend
20	maximale Anstrengung

Abbildung 18: RPE-Skala zur Bestimmung des subjektiven Anstrengungsempfindens, eigene Darstellung nach G. Borg (2004)

5.2.6 Technikakzeptanzfragebogen

Als Fragebogen zur Bestimmung der Technikakzeptanz und deren Eingangsgrößen nach dem aufgestellten Untersuchungsmodell in Abbildung 15 wurde auf das von Taylor & Todd (1995) entwickelte Befragungsinstrument zurückgegriffen. Für die eigene Studie sind die Konstrukte *Einfachheit der Nutzung*, *wahrgenommene Nützlichkeit* und *Kompatibilität* als Eingangsgrößen sowie die Einstellung der Nutzung und Nutzungsabsicht relevant. Die Autorenschaft nutzte für die Bewertung der Einfachheit der Nutzung, der wahrgenommenen Nützlichkeit sowie der Kompatibilität die Frageitems nach Davis (1989) und Moore & Benbasat (1991). Für die Items der Einstellung der Nutzung und der Nutzungsabsicht wurden die Items von Ajzen (1985), Ajzen (1991) und Ajzen & Fishbein (1980) verwendet. Taylor & Todd (1995) überprüften den Fragebogen in einer Pilotstudie und modifizierten und kürzten die Items, falls erforderlich. Die Zuordnung der Items zu den jeweiligen Konstrukten sowie die Formulierung der Items findet sich in Tabelle 7.

Die Items werden mit einer siebenstufigen Likert-Skala erhoben, d.h. auch hier entsprechen die Items keinen Fragen, sondern Aussagen zu den zu untersuchenden Konstrukten und können von den Befragten mittels „trifft voll und ganz zu“ bis „trifft gar nicht zu“ bewertet werden. Die Konstrukte *Einfachheit der Nutzung*, *Kompatibilität* sowie *Nutzungsabsicht* setzen sich aus drei Items zusammen, das Konstrukt *wahrgenommene Nützlichkeit* sowie *Einstellung zur Nutzung* aus vier Items.

Tabelle 7: Übersicht der Fragebogen-Items für jedes Konstrukt

Konstrukt	Item
Wahrgenommene Nützlichkeit	Das System wird für mich nicht von Nutzen sein. Die Nutzung des Systems wird meine berufliche Leistung verbessern. Die Vorteile des Systems werden die Nachteile überwiegen. Alles in allem wird die Nutzung des Systems von Vorteil sein.
Kompatibilität	Die Nutzung des Systems wird gut zu meiner Art und Weise passen, wie ich arbeite. Die Nutzung des Systems wird gut zu meinem Arbeitsstil passen. Die Einstellung des Systems wird mit meiner Arbeitsweise vereinbar sein.
Einfachheit der Nutzung	Die Anweisungen zur Verwendung der Komponenten des Systems werden schwierig zu befolgen sein. Es wird schwierig sein, die Bedienung des Systems zu erlernen. Es wird einfach sein, die Komponenten des Systems zu bedienen.
Einstellung zur Nutzung	Die Idee, das System zu nutzen ist (sehr schlecht/sehr gut) Die Idee, das System zu nutzen ist (gar nicht sinnvoll/sehr sinnvoll) Die Idee, das System zu nutzen (mag ich gar nicht/mag ich sehr) Das System zu benutzen wäre (sehr unangenehm/sehr angenehm)
Nutzungsabsicht	Ich beabsichtige, das System zu benutzen. Ich beabsichtige, das System zu benutzen, wenn ich an einem Steharbeitsplatz arbeite. Ich beabsichtige, das System regelmäßig zu benutzen.

Der für die Studie verwendete Technikakzeptanzfragebogen übernimmt die Items sowie die siebenstufige Likert-Skala zur Bestimmung der Eingangsgrößen und der Technikakzeptanz für die verschiedenen Individualisierungsgrade aus der oben genannten Quelle. Bevor man den Fragebogen einsetzen konnte, mussten die Items ins Deutsche übersetzt werden. Zur Überprüfung der Übersetzung wurden sie anschließend von einer weiteren Person zurück ins Englische übersetzt. So soll zum einen die Korrektheit der Übersetzung, zum anderen die sinngemäße Übersetzung der Items überprüft werden. Anschließend wurde ein Pretest des Fragebogens mit drei Personen durchgeführt, um weitere Formulierungsfehler oder Verständnislücken zu identifizieren und zu verbessern. Der gesamte Fragebogen mit allen Items findet sich in Anhang H. Der Fragebogen wurde ebenfalls in SoSci-Survey erstellt und wird vor Ort online ausgefüllt.

Nach Brauer et al. (2015) gibt es verschiedene Möglichkeiten, wann die Technikakzeptanz gemessen werden kann: vor, während und nach der Nutzung der zu untersuchenden Technologie. Die Autorenschaft stellte fest, dass eine Messung vor der Nutzung unüblich ist, die Messung während der Nutzung ist bei der Entwicklung neuer Technologien relevant, z.B. im Rahmen des menschenzentrierten Gestaltungsprozesses nach DIN EN ISO 9241-210. Die Untersuchung der Technikakzeptanz nach Nutzung der Technik ist ein bewährtes Vorgehen, hierbei können Gefallen und Weiterentwicklungsmaßnahmen der Technik durch die Anwender ermittelt werden. Da bei der eigenen Untersuchung diese Aspekte betrachtet werden sollen, wurde die Technikakzeptanz nach der Nutzung des individualisierbaren Arbeitsplatzes für jeden Individualisierungsgrad erhoben.

5.2.7 Bewertung der Individualisierungsgrade

Um zusätzliche Erkenntnisse über die subjektive Beurteilung der einzelnen Individualisierungsgrade zu erhalten, wurde zusätzlich eine qualitative Befragung durchgeführt (Döring & Bortz, 2016). Jede Versuchsperson wurde nach Abschluss der Testung aller vier Individualisierungsgrade gebeten, den Individualisierungsgrad zu nennen, der ihr am besten gefallen hat. Diese Auswahl sollte begründet werden. Die Antworten der Versuchspersonen wurden schriftlich dokumentiert.

Zusätzlich wurden die Verfahrensweg der Akteure für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung aufgezeichnet, um einen Überblick zu erhalten, wie häufig nachjustiert wurde und wie groß die Abweichungen der Einstellungen gegenüber der automatisierten Adaption sind. Die Daten wurden in einer CSV-Datei gespeichert.

5.3 Versuchsablauf

Jede Testperson absolviert zwei Versuchstage mit einer Dauer von je 2,5 Stunden, an denen jeweils zwei Individualisierungsgrade getestet werden. Die Reihenfolge der Individualisierungsgrade wird den Versuchspersonen zufällig zugeordnet, um den Einfluss von Reihenfolgeeffekten zu reduzieren (Siebertz, van Bebbler & Hochkirchen, 2017). Zwischen den beiden Terminen sollte maximal eine Woche liegen, damit die Eigenschaften und Erlebnisse der einzelnen Individualisierungsgrade noch im Gedächtnis sind und so miteinander verglichen werden können. Gleichzeitig wird dadurch eine Erholung von der durch den Steharbeitsplatz erzeugten Belastung erreicht. Termine zur Versuchsteilnahme wurden im Zeitraum Juni bis Oktober 2019 angeboten.

Die Testpersonen erhielten nach Bestätigung ihrer Teilnahme an der Studie ein Anschreiben mit wichtigen Informationen zum Versuch sowie einem Internetlink zu einem Online-Fragebogen, der die Fragen zur Person sowie den TA-EG-Fragebogen zur Erhebung der Technikaffinität enthielt (Anhang C).

Der Inhalt des TA-EG-Fragebogens sowie der Daten zur Person sind unabhängig vom Versuchsgegenstand ausfüllbar. Daher wurde dieser Online-Fragebogen vor den Versuchstagen ausgefüllt, um die Versuchszeit der einzelnen Termine nicht zusätzlich zu erhöhen. Die einzelnen Aussagen wurden für jede Testperson randomisiert, um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden (Döring & Bortz, 2016).

Der Versuchsablauf für jeden Termin ist Abbildung 19 zu entnehmen. An jedem Versuchstag wird die Testperson von zwei Personen betreut, die für die Versuchsleitung zuständig sind. Nach der Begrüßung wird den Testpersonen eine Datenschutzerklärung (Anhang B) zum Lesen und Unterzeichnen vorgelegt. Anschließend erfolgt am ersten Termin das Bestimmen der Körpermaße im Bodyscanner. Während eine Versuchsleitung die Körpermaße aus der Software „Anthroscan“ ermittelt, wird die Testperson mit den Sensoren des Motion-Capture-Systems ausgerüstet. Nun folgt die eigentliche Versuchsphase mit der Testung der jeweiligen Individualisierungsgrade. Zu Beginn wird die Arbeitsaufgabe erläutert: Die Versuchspersonen simulieren eine feinmotorische Tätigkeit, indem sie Legosteine unterschiedlicher Größe und Farbe nach einem vorgegebenen Farbmuster (Montageanleitung) auf eine Legoplatte stecken. Neben der Vorstellung der Montagetätigkeit wird außerdem die Benutzungsoberfläche mit der Anzeige der Montageanleitung erklärt. Für die Versuche wurden 30 Montageanleitungen zum Zusammenstecken der Legomuster auf die Legoplatte vorbereitet. Die Versuchspersonen konnten die Geschwindigkeit des Zusammenbaus selbstständig bestimmen und nach jedem Abschluss einer Montageanleitung selbstständig auf eine andere Anleitung wechseln.

Nach der Einführung in die Montagetätigkeit wurde der erste zu testende Individualisierungsgrad vorgestellt. Für jeden Grad gibt es ein Protokoll, um die Bewertung der Individualisierungsgrade nicht durch unvollständige Informationen oder differenzierte Erläuterungen durch die Versuchsleitung zu beeinflussen. Das Protokoll findet sich in Anhang E. Je nach Individualisierungsgrad erfolgte die Anmeldung mittels RFID-Karte durch die Testperson. Beim Individualisierungsgrad ohne Adaption wird die standardisierte Einstellung auf die Normwerte (vgl. Kapitel 3.3) von der Versuchsleitung durchgeführt, die RFID-Funktion soll den Versuchspersonen für diesen Individualisierungsgrad nicht sichtbar gemacht werden, da standardisierte Arbeitsplätze in der Montage nicht über eine derartige Funktion verfügen. Für die adaptierbare Anpassung wird vor der Interaktion der Testpersonen mit dem Assistenzsystem die Benutzungsoberfläche zur Einstellung der Aktoren aufgerufen. Auch dies erfolgt, während die Testpersonen noch nicht vor Ort sind oder den Fragebogen ausfüllen. Im Anschluss folgt die Erläuterung der Borg-Skala nach einem Skript nach G. Borg (2004), dieses ist in Anhang F dargestellt. Die Borg-Skala wird zu Beginn der Tätigkeit sowie alle 7,5 Minuten aufgenommen. Hierzu wird immer wieder die Frage: „Wie belastend fühlen Sie sich?“ nach G. Borg (2004) gestellt, die die Testperson mit einer Zahl auf der Borg-Skala beantwortet.

Nun kann die Testperson die Bearbeitung der Montagetätigkeit starten. Jeder Individualisierungsgrad wird 45 Minuten getestet. Diese Zeitangabe beruht auf der maximalen Haltezeit nach Miedema, Douwes & Dul (1997). Die Autorenschaft ermittelte auf Basis einer Literaturrecherche diese Dauer für eine komfortable Körperhaltung des einfachen Stehens, welche in der Studie gegeben ist. Unter der maximalen Haltezeit versteht die Autorenschaft die Dauer, die eine statische Haltung kontinuierlich ausgehalten werden kann. Zwei fest installierte Kameras filmen den Versuch für jeden Individualisierungsgrad.

Nach Ende der 45 Minuten beendet die Testperson die Montagetätigkeit und erhält den Technikakzeptanzfragebogen zum Ausfüllen. Dieser wird auch als Online-Fragebogen zur Verfügung gestellt, wobei auch hier auf eine Randomisierung der Aussagen für jede Versuchsperson geachtet wurde. Hierzu steht ein Laptop für die Testperson bereit. Berger, Caffier, Schultz und Trippler (2009) kategorisierten das Stehen von bis zu 2,5 Stunden als geringe Belastung, bei der keine Überlastung zu erwarten ist. Trotzdem wird das Ausfüllen des Fragebogens im Sitzen durchgeführt, um einen Haltungswechsel zu ermöglichen. Für das Ausfüllen des Fragebogens sind mindestens 15 Minuten vorgesehen, je nach Versuchsperson kann diese Zeit aber auch noch verlängert werden. Anschließend erfolgt die Testung von Individualisierungsgrad zwei. Der Abschluss eines Versuchstermins ist wieder das Ausfüllen des Technikakzeptanzfragebogens, danach wird die Testperson verabschiedet.

Der zweite Termin läuft nach dem gleichen Schema wie Termin eins ab, nur die Vermessung durch den Bodyscanner entfällt. Nach Beendigung der Testung des letzten Individualisierungsgrades wird die Versuchsperson nach der Bewertung der Individualisierungsgrade gefragt (siehe Kapitel 5.2.7). Nach Abschluss des zweiten Termins erhält die Testperson eine Aufwandsentschädigung.

Während der Versuchsdurchläufe werden Besonderheiten, Ausfälle der Sensoren oder sonstige Vorfälle protokolliert. Diese sind, gerade für die spätere Auswertung der Motion-Capture-Daten, relevant und sollen die Möglichkeit bieten, eventuell auftretende Ausreißer in den Daten nachvollziehen zu können.

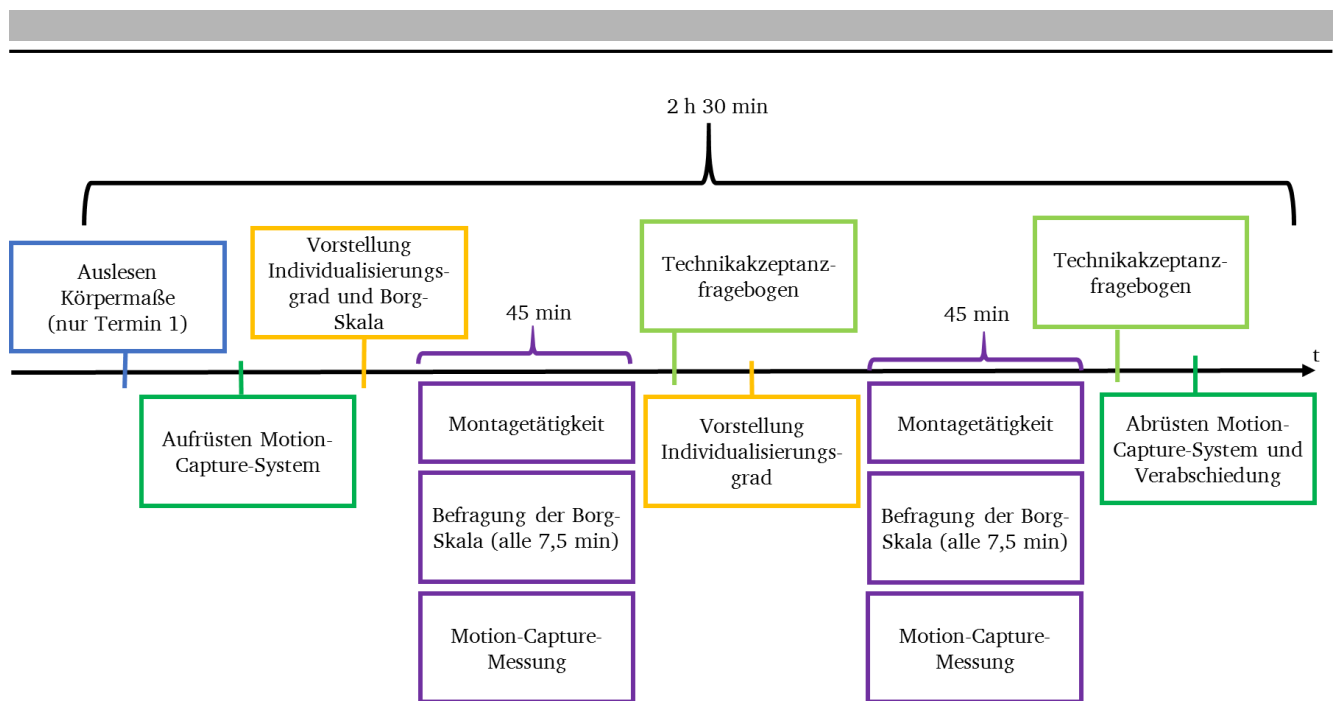


Abbildung 19: Zeitlicher Versuchsablauf Laborstudie

5.4 Datenauswertung

Für die Untersuchung der Hypothesen müssen ausgewertete Daten bezüglich der im Untersuchungsmodell aufgestellten Faktoren Belastung, subjektives Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz vorliegen. Zusätzlich müssen die Daten der Technikaffinität sowie der Körpermaße ausgewertet werden. Die aufgezeichneten Videodaten dienen lediglich als Backup, um spätere Ergebnisse diskutieren zu können. Sie werden nicht explizit ausgewertet, da sie für die Untersuchung der Hypothesen nicht relevant sind.

5.4.1 Belastung

Die durch die Motion-Capture-Sensoren aufgenommenen Rohdaten können über die Software der Firma TEA als CSV-Datei exportiert werden. Die Abtastrate der Sensoren beträgt 32 Hz, dies wurde über die TEA-Software vor der Messung voreingestellt. Die CSV-Datei enthält nun über die Dauer der Aufzeichnung (45 Minuten) alle abgetasteten Gelenkwinkel. Für jede Versuchsperson lagen insgesamt vier CSV-Dateien vor, eine Datei pro Individualisierungsgrad.

Wie in Kapitel 5.2.2 beschrieben, sind für die vorliegende Untersuchung die Körpersegmente Nacken, Rücken und Schulter relevant. Da die Einstellung des individualisierbaren Steharbeitsplatzes sich auf Höhen- und Greifraumeinstellung beschränkt, werden folgende Bewegungsrichtungen näher betrachtet: die Flexion und Extension des Nackens bzw. der Halswirbelsäule (Kopfnäigung), die Flexion und

Extension des Rumpfes (Rumpfneigung), die Flexion und Extension sowie die Abduktion und Adduktion des Schultergelenks. Nach Kapandji (2006) beschreibt die Flexion und Extension eine Bewegung der Gelenke aus der Körpergrundstellung nach vorne und hinten, die Abduktion und Adduktion beschreibt die Bewegung der Schulter und somit des Armes zum Rumpf hin und vom Rumpf weg. Mittels der Oberarmbewegung wird eine Aussage über die Winkel des Schultergelenkes getroffen. Die Einteilung der Gelenkwinkel erfolgt nach DIN EN 1005-4 und ISO 11226 in „akzeptabel“ (grün), „bedingt akzeptabel“ (gelb) und „nicht akzeptabel“ (rot). Die Werte sind in Tabelle 8 dargestellt. Die Normen empfehlen diese Kategorien als Beurteilung der Belastungen durch Körperhaltungen und -bewegungen anhand des physiologischen Bewegungsraumes. Ein nicht akzeptabler Gelenkwinkel stellt damit eine nicht akzeptable Belastung dar, dies gilt für die beiden anderen Einteilungen analog. Wie in Kapitel 2.3 dargestellt, setzt sich die Belastung aus Höhe und Dauer der Belastung zusammen. Somit sind bei der Bestimmung der Belastungen durch die unterschiedlichen Individualisierungsgrade auch die Zeitanteile relevant, wie häufig sich die Gelenkwinkel im roten, gelben oder grünen Bereich befinden.

Tabelle 8: Einteilung der Gelenkwinkel nach DIN EN 1005-4 und ISO 11226 in verschiedene Belastungszonen

Gelenkwinkel	akzeptabel	bedingt akzeptabel	nicht akzeptabel
Kopfneigung Flexion/Extension	0° - 25°	25° - 85°	> 85° < 0°
Rumpfneigung Flexion/Extension	0° - 20°	20° - 60°	> 60° < 0°
Linke Schulter Flexion/Extension	0° - 20°	20° - 60°	> 60° < 0°
Linke Schulter Abduktion/Adduktion	0° - 20°	20° - 60°	> 60° < 0°
Rechte Schulter Flexion/Extension	0° - 20°	20° - 60°	> 60° < 0°
Rechte Schulter Abduktion/Adduktion	0° - 20°	20° - 60°	> 60° < 0°

Zur Auswertung der Belastungen der Individualisierungsgrade wurde daher eine Vorlage im Programm Excel entwickelt, welche die Gelenkwinkelrohdaten aus der „Captiv“-Software hinsichtlich der Gelenkwinkelbereiche nach Tabelle 8 einteilt und Zeitanteile ermittelt, wie häufig die Gelenkwinkelbereiche über die Zeit eingenommen werden. Somit kann eine Aussage getroffen werden, wie oft für welches Körpersegment eine akzeptable oder nicht akzeptable Belastungshöhe erreicht wird.

Die Zeitanteile der Belastungshöhen werden anschließend zwischen den Individualisierungsgraden verglichen. Für die Untersuchung der Hypothesen werden die Zeitanteile je Gelenkwinkelzone über alle Versuchsteilnehmende für jeden Individualisierungsgrad gemittelt.

Nach Steinebach, Grosse, Glock, Wakula & Lunin (2019) ist bei der Messung mit dem Motion-Capture-System eine Abweichung zwischen tatsächlichem und gemessenem Gelenkwinkel gegeben. Um diesen Messfehler auszugleichen, werden die Rohdaten von „Captiv“ über die mittlere absolute Abweichung korrigiert. Steinebach et al. (2019) ermittelten für „Captiv“ bezüglich der Teilbewegungen, wie Schulterabduktion/-adduktion, Schulterflexion/-extension sowie die Rumpfneigung, die mittlere absolute Abweichung in einem Versuch. Aus dem Datenblatt wird für die Motion-Capture-Sensoren eine Messabweichung der Sensoren für die Kopfneigung angegeben (TEA, 2017). Die Abweichungen sind in Tabelle 9 dargestellt und dienen als Basis zur Korrektur der Rohdaten.

Tabelle 9: Abweichungen der Messwerte des Motion-Capture Systems

Gelenkwinkel	Mittlere Abweichung
Kopfneigung Flexion/Extension	$\pm 2,0^\circ$
Rumpfneigung Flexion/Extension	$\pm 4,4^\circ$
Linke Schulter Flexion/Extension	$\pm 3,0^\circ$
Linke Schulter Abduktion/Adduktion	$\pm 2,8^\circ$
Rechte Schulter Flexion/Extension	$\pm 4,1^\circ$
rechte Schulter Abduktion/Adduktion	$\pm 2,6^\circ$

5.4.2 Subjektives Anstrengungsempfinden

Die Rohdaten des subjektiven Anstrengungsempfindens liegen als Excel-Datei vor. Hierbei wurden alle 7,5 der insgesamt 45 Minuten Versuchsdauer die Werte der Borg-Skala notiert um, wie für die Belastungen, einen Zeitverlauf des subjektiven Anstrengungsempfindens zu erhalten. Zur Untersuchung der Hypothesen wurden die Daten nach Individualisierungsgraden sortiert und für jede Testperson der

Mittelwert der Borg-Skala über die Zeit gebildet. Anschließend wurden die Ergebnisse über alle Versuchspersonen für jeden Individualisierungsgrad gemittelt.

5.4.3 Technikakzeptanz

Die Rohdaten aus dem Technikakzeptanzfragebogen werden durch das Online-Programm SoSci-Survey als CSV-Datei zur Verfügung gestellt. In dieser Datei sind alle Fragebögen enthalten, die im Untersuchungszeitraum Juni bis Oktober 2019 ausgefüllt wurden. Wie in Anhang H ersichtlich, wird vor jedem Ausfüllen des Fragebogens von der Versuchsleitung eingetragen, welcher Individualisierungsgrad betrachtet wird. Jedem Grad wird dabei eine Nummer zugeordnet. So können im Nachhinein die Antworten nach Individualisierungsgrad sortiert werden.

Die CSV-Datei wurde in eine Excel-Datei übertragen. Wie in Kapitel 5.2.6 beschrieben, setzt sich jedes Konstrukt aus einzelnen Items bzw. Aussagen zusammen. Die Rohdaten geben für jedes dieser Items einen Punktwert aus, entsprechend der Likert-Skala wird der Antwort „trifft voll und ganz zu“ der Wert sieben, der Antwort „trifft gar nicht zu“ der Wert eins zugeordnet. Bei negativ gestellten Aussagen wird die Zuordnung der Werte umgedreht. In der Excel-Datei wurde für jedes Konstrukt und zu jeder Testperson der Mittelwert aus den zugehörigen Punktwerten der Items gebildet.

Um die Reliabilität des Fragebogens zu überprüfen, wird die interne Konsistenz der Items nach Cronbach (1951) mittels Cronbachs Alpha bestimmt. Unter interner Konsistenz wird hierbei das Ausmaß verstanden, in dem alle Items eines Fragebogens das gleiche Konstrukt messen (Tavakol & Dennick, 2011). Je nach Ergebnis der internen Konsistenz dürfen einzelne Items für die statistische Auswertung nicht berücksichtigt werden. Hierzu ist die Berechnung von Cronbachs alpha für alle Konstrukte der Technikakzeptanz über alle Fragebogen-Items für jeden Individualisierungsgrad notwendig. Nach Cronbach (1951) und Blanz (2015) kann Cronbachs Alpha wie folgt interpretiert werden:

- Exzellent für Cronbachs Alpha $> 0,9$
- gut für Cronbachs Alpha $> 0,8$
- akzeptabel für Cronbachs Alpha $> 0,7$
- fragwürdig für Cronbachs Alpha $> 0,6$
- schlecht für Cronbachs Alpha $> 0,5$
- inakzeptabel für Cronbachs Alpha $< 0,5$

Für diese Studie wird ein Cronbachs Alpha von 0,7 und größer als Bedingung zur Annahme der internen Konsistenz der Items festgelegt. Unterhalb dieses Wertes ist eine weitere Untersuchung der Items

erforderlich. Liegen die Cronbachs Alpha unter dem Grenzwert von 0,7, ist zusätzlich eine Konsistenzanalyse der einzelnen Items notwendig. Nach Eckstein (2016) sind für einen reliablen Item-Fragebogen nur stark korrelierte Items interessant. Der Autor gibt an, anhand der Item-Skala-Statistik des SPSS-Programms festzustellen, welches Item entfernt werden muss, um einen akzeptables Cronbachs Alpha zu erreichen. Unter der „Item-Skala-Statistiken“ in SPSS wird sichtbar, welches Item eine Verbesserung oder Verschlechterung hervorruft (unter „Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen“).

Mittels des Statistikprogramms SPSS wurde Cronbachs Alpha für jedes Konstrukt innerhalb jedes Individualisierungsgrades berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse von Cronbachs Alpha zur Überprüfung der internen Konsistenz

	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	adaptierbare Anpassung
Nützlichkeit	0,84	0,61 (korrigiert 0,77)	0,64 (korrigiert 0,80)	0,83
Kompatibilität	0,94	0,91	0,90	0,91
Einfachheit der Nutzung	0,75	0,77	0,73	0,80
Einstellung zur Nutzung	0,98	0,92	0,92	0,90
Nutzungsabsicht	0,96	0,85	0,81	0,88

Bei der Analyse des Cronbachs Alpha für den Individualisierungsgrad *ohne Adaption* kann festgestellt werden, dass der Wert für alle Konstrukte als akzeptabel bis exzellent eingestuft werden kann. Auch für den Individualisierungsgrad *adaptierbare Anpassung* liegen alle Werte von Cronbachs Alpha über dem Grenzwert von 0,7 und werden als gut bis exzellent eingestuft.

Für den Individualisierungsgrad *automatisierte Adaption* wird das Cronbachs Alpha für das Konstrukt *Nützlichkeit* mit einem Wert von 0,61 als fragwürdig eingestuft. Die Analyse der Item-Skala-Statistik zeigt, dass das Entfernen des ersten Items („Das System wird für mich nicht von Nutzen sein.“), den Wert von Cronbachs Alpha auf 0,77 erhöht. Somit liegt der Wert über dem festgelegten Grenzwert. Daher wird für diesen Individualisierungsgrad zukünftig dieses Item zur Beschreibung des Konstruktes *Nützlichkeit* entfernt. Alle anderen Konstrukte werden als akzeptabel bis exzellent eingestuft.

Beim Individualisierungsgrad *automatisierte Anpassung mit Nachjustierung* lässt sich Ähnliches wie beim Individualisierungsgrad *automatisierte Anpassung* feststellen. Hier erreicht das Konstrukt ein Cronbachs Alpha von 0,64, durch Entfernen von Item 1 („Das System wird für mich nicht von Nutzen sein.“) erhöht sich der Wert auf 0,80. Für die zukünftige Auswertung wird diese Änderung berücksichtigt. Alle weiteren Konstrukte bleiben über dem Grenzwert von 0,7. Hier ist keine Anpassung der Daten erforderlich.

Wie aus dem Untersuchungsmodell ersichtlich, wird die Technikakzeptanz nach Dethloff (2004) aus dem Konstrukt *Nutzungsabsicht* und *Einstellung zur Nutzung* zusammengesetzt. Für die weitere Untersuchung muss nach Kauer, Theuerling & Bruder (2013) vor Untersuchung der Hypothesen die Korrelation der beiden Konstrukte ermittelt werden. Die Ergebnisse des Zusammenhangs zwischen den Konstrukten *Intention der Nutzung* und *Nutzungsabsicht* sind in Tabelle 11 dargestellt.

Nach visueller Sichtung der Streudiagramme für die Konstrukte *Intention der Nutzung* und *Nutzungsabsicht* bezüglich der jeweiligen Individualisierungsgrade konnte eine annähernde lineare Verteilung für die Konstrukte *Einstellung zur Nutzung* und *Nutzungsabsicht* bei jedem Individualisierungsgrad festgestellt werden. Nach Cohen (1988) kann ab einem Wert von $|r| \geq 0,50$ von einer starken Korrelation ausgegangen werden. Somit zeigen alle Korrelationskoeffizienten (r) eine starke Korrelation auf. Für die zukünftige Untersuchung können die Konstrukte *Intention zur Nutzung* und *Nutzungsabsicht* zum Faktor Technikakzeptanz zusammengefasst werden. Hierzu wird das arithmetische Mittel der beiden Konstrukte verwendet (Kauer et al., 2013).

Tabelle 11: Ergebnisse der Produkt-Moment-Korrelation der Konstrukte *Einstellung zur Nutzung* und *Nutzungsabsicht* (n=55)

	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	Adaptierbare Anpassung
	Nutzungsabsicht	Nutzungsabsicht	Nutzungsabsicht	Nutzungsabsicht
Einstellung zur Nutzung	r=0,92**	r=0,63**	r=0,65**	r=0,75**

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

5.4.4 Technikaffinität

Zur Beantwortung der Hypothesen in Bezug auf die Technikaffinität wird mittels einer Punkteskala, die sich an der fünfstufigen Likert-Skala orientiert, ein Technikaffinitätsscore für jeden Befragten bestimmt. Hierbei entspricht die Aussage „trifft gar nicht zu“ einer Punktbewertung von eins, die Einstufung „trifft voll und ganz zu“ entspricht einem Punktwert von fünf. Bei negativ gestellten Aussagen wird diese

Punktebewertung umgedreht, z.B. würde bei der Aussage „Elektronische Geräte machen krank“ für die Antwort „trifft voll und ganz zu“ nur ein Punktwert statt fünf Punktwerte berechnet. Die Punktwerte für jede einzelne Aussage werden addiert, hieraus ergibt sich dann der Technikaffinitätsscore. Zur Einteilung der Versuchspersonen in technikaffine und nicht technikaffine Personen wird der Median der Technikaffinität über die gesamte Stichprobe als Grenzwert verwendet. Der Median ist ein Lagemaß und markiert das 50. Perzentil der betrachteten Datenwerte (Fahrmeir, Heumann, Künstler, Pigeot & Tutz, 2016). Personen, die über dem Median liegen, werden als technikaffin, Personen die unterhalb des Median liegen als nicht technikaffin eingestuft.

5.4.5 Anthropometrie

Die Körpermaße wurden aus der Bodyscanner-Software „Anthroscan“ ermittelt. In Anlehnung an die Gestaltungsrichtwerte für Arbeitsplätze wird die vorliegende Stichprobe in eine Gruppe, deren Maße unter dem 5. Perzentil oder über dem 95. Perzentil liegen sowie in eine Gruppe, die innerhalb des 5. Perzentils bis 95. Perzentils liegen, eingeteilt. Dies wird jeweils für die anthropometrischen Maße Körperhöhe, Körpertiefe und Reichweite nach vorn durchgeführt. Die Grenzwerte zur Einteilung der Personengruppen sind Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Perzentilwerte zur Einteilung der Stichprobe nach DIN EN ISO 33402-2

Perzentil	Körperhöhe (mm)	Körpertiefe (mm)	Reichweite (mm)
5. Perzentil Frau	1535	245	625
95. Perzentil Frau	1720	345	750
5. Perzentil Mann	1650	260	685
95. Perzentil Mann	1855	380	815

Die Berechnung der deskriptiven Auswertung erfolgt mittels des Programms Excel, die statistische Auswertung erfolgt mit dem Statistikprogramm SPSS. Wie in Anhang A ersichtlich, werden Zusammenhangs- und Unterschiedshypothesen untersucht. Zur Überprüfung der Unterschiedshypothesen wird aufgrund der Vergleiche von vier unabhängigen Variablen (Individualisierungsgrade) bei einer abhängigen Stichprobe eine Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Anschließend werden über einen Mittelwertvergleich die Unterschiede zwischen einzelnen Individualisierungsgraden festgestellt. Für die Zusammenhangshypothesen werden die Korrelationskoeffizienten bestimmt. Es wird von einem Signifikanzniveau von 5 % ausgegangen.

5.5 Statistische Grundlagen

Für die Testung der Zusammenhangshypothesen ist nach Döring & Bortz (2016) und du Prel, Röhrig, Hommel & Blettner (2010) eine Produkt-Moment-Korrelation durchzuführen. Hierbei wird der Pearson-Korrelationskoeffizient als Maß für die Stärke des linearen Zusammenhangs zweier Merkmale verwendet (Fahrmeir et al., 2016). Die Teststärke des Korrelationskoeffizienten wird nach Cohen (1988) wie folgt angenommen:

- Geringe/schwache Korrelation ab $|r| \geq 0,10$
- Mittlere/moderate Korrelation ab $|r| \geq 0,30$
- Große/starke Korrelation ab $|r| \geq 0,50$

Die vorliegenden Unterschiedshypothesen beziehen sich auf einen Vergleich von vier Individualisierungsgraden (Faktor mit mehr als zwei Stufen), wobei die Individualisierungsgrade an einer Stichprobe zu mehreren Erhebungszeitpunkten untersucht werden. Daher ist für die statistische Überprüfung der Unterschiedshypothese nach Döring & Bortz (2016) und du Prel et al. (2010) eine Varianzanalyse mit Messwiederholung durchzuführen. Es wird ein Signifikanzniveau von 5 % festgelegt. Eine wichtige Voraussetzung der Varianzanalyse mit Messwiederholung ist die Homoskedastizität. Homoskedastizität bedeutet, dass die Varianzen über die getesteten Teilgruppen homogen sind (Backhaus, Erichson, Plinke & Weiber, 2018). Nach der Autorenschaft führt eine fehlende Homoskedastizität zu einer Verfälschung des F-Tests, auf dem die Varianzanalyse beruht. Somit muss der Datensatz auf Homoskedastizität überprüft werden. Der bekannteste Test ist der Mauchly-Test (Mauchly, 1940). Ergibt der Test ein signifikantes Ergebnis, dann kann Homoskedastizität nicht angenommen werden. In diesem Fall ist die Betrachtung des Kennwertes Epsilon (ϵ) notwendig. Hierbei bietet SPSS Korrekturverfahren an, die Greenhouse-Geisser-Korrektur bzw. die Huynh-Feldt-Korrektur. Hierzu werden die Werte des Epsilon des Mauchly-Tests mit denen von Greenhouse-Geisser und Huynh-Feldt verglichen. Die Entscheidung, welches Korrekturverfahren angewendet werden soll, kann an einem Grenzwert für Epsilon festgemacht werden. Nach Girden (1992) empfiehlt sich ein Grenzwert für Epsilon von 0,75. Wird dieser Grenzwert vom Greenhouse-Geisser Epsilon unter- oder überschritten, so muss entsprechend korrigiert werden. Bei Werten unter 0,75 sollte die Greenhouse-Geisser-Korrektur angewandt werden, bei Werten über 0,75 die Huynh-Feldt-Korrektur. Da die Varianzanalyse lediglich eine Aussage darüber trifft, ob sich die Mittelwerte aller Individualisierungsgrade signifikant voneinander unterscheiden (F-Test), aber keine Aussage über die genauen Unterschiede getroffen werden kann, wird im Anschluss der Varianzanalyse ein Post-hoc-Test durchgeführt, um die konkreten Unterschiede zwischen den einzelnen Individualisierungsgraden signifikant zu überprüfen (Backhaus et al., 2018). Hierbei wird nach der Autorenschaft die Bonferroni-Korrektur zur Korrektur des Alpha-

Fehlers angewandt. Nach Cohen (1988) wird die Effektstärke der Varianzanalyse mit Messwiederholung wie folgt eingeteilt:

- Schwacher Effekt für $f \geq 0,10$
- Mittlerer Effekt für $f \geq 0,25$
- Starker Effekt für $f \geq 0,40$

Die Untersuchung der Persönlichkeitsmerkmale erfolgt ebenfalls über die Testung einer Unterschiedshypothese. Da hier zwei unabhängige Stichproben untersucht werden, wird zur Bestimmung der Signifikanz ein t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt (Döring & Bortz, 2016). Der t-Test untersucht, ob sich zwei Mittelwerte aus zwei unterschiedlichen Stichproben signifikant unterscheiden (Schäfer, 2016). Das Signifikanzniveau wird wie bei der Varianzanalyse auf 5 % festgelegt.

Zur Berechnung dieser parametrischen Testverfahren müssen zwei wesentliche Voraussetzungen erfüllt sein: die Normalverteilung der Daten sowie eine ähnliche Varianz der zu untersuchenden Gruppen (Schäfer, 2016). Zur Überprüfung dieser Voraussetzungen werden die Daten über Boxplots auf Ausreißer überprüft. In einigen Fällen kann eine Normalverteilung der Daten vorausgesetzt werden. Die Analyse dieser Voraussetzungen wird in den Kapitel 6.1.6 und 6.1.7 näher erläutert.

6 Ergebnisse

Zu Beginn dieses Kapitels werden die deskriptiven Ergebnisse der durchgeführten Studie vorgestellt. Anschließend werden die Ergebnisse der Varianz- und Korrelationstestung erläutert und die Erkenntnisse auf die Annahme oder Ablehnung der Hypothesen übertragen.

6.1 Deskriptive Auswertung

Im Folgenden werden die deskriptiven Ergebnisse der untersuchten Faktoren dargestellt. Die deskriptive Darstellung der Ergebnisse dient der zusammenfassenden Darstellung des Datensatzes und stellt wichtige Informationen zu den Daten zur Verfügung, die anschließend mittels statistischer Auswerteverfahren analysiert werden (Cleff, 2015).

Wird bei der Vorstellung der deskriptiven Ergebnisse von der Normwertreferenz gesprochen, so ist hiermit die Einstellung des Steharbeitsplatzes auf abgeleitete Normwerte (ohne Adaption) gemeint und nicht die Einstellung auf die anthropometrischen Maße. Die Ergebnisse für jeden Individualisierungsgrad werden in einem Boxplot dargestellt. Nach Bortz (2010) zeigt der Boxplot die Maximal- und Minimalwerte, sowie die Verteilung in vier Quartile, die durch die Grenzen 25., 50. und 75. Perzentil bestimmt sind. Je nach Datensatz kann es vorkommen, dass Ausreißerwerte vorhanden sind. In den dargestellten Boxplots ist die Lage des Median mit einer horizontalen Linie sowie die Lage des Mittelwertes mit einem Kreuz gekennzeichnet. Die Punkte unter- und oberhalb der Antennen kennzeichnen Ausreißerwerte in den Daten. Die Ausreißerwerte müssen für die spätere Berechnung der statistischen Tests berücksichtigt werden. Die beschriebene Darstellung gilt für alle Boxplots, die in diesem Kapitel dargestellt werden. Zusätzlich zu den Boxplots werden die Mittelwerte und die Standardabweichungen der untersuchten Daten in einer Tabelle angegeben.

6.1.1 Beurteilung der Individualisierungsgrade und Auswertung der Nachjustierung

Wie in Kapitel 5.2.7 beschrieben, konnten die Versuchspersonen nach Teilnahme an der Studie einen Individualisierungsgrad bestimmen, der ihnen am besten gefallen hat. Die Auswahl konnten die Versuchspersonen anschließend begründen. Abbildung 20 zeigt die Nennungen der Individualisierungsgrade.

Es kann eine deutliche Präferenz der automatisierten Adaption mit Nachjustierung (mANJ) festgestellt werden, dieser Individualisierungsgrad wurde am häufigsten genannt (36 Nennungen). Als Gründe für diese Beurteilung wurde von allen Versuchspersonen die ergonomisch günstige Voreinstellung als Orientierungshilfe angegeben. Trotzdem war die Möglichkeit gegeben, den Arbeitsplatz an

Arbeitsgewohnheiten und eigene Vorlieben anzupassen. Die adaptierbare Anpassung wurde von 11 Versuchspersonen als bevorzugter Individualisierungsgrad genannt. Als Hauptgrund wurde hier die Möglichkeit angegeben, alle Einstellungen selbst auszuwählen. Sechs Versuchspersonen favorisierten die automatisierte Adaption. Gründe für diese Einschätzung waren die aus ihrer Sicht passende ergonomische Einstellung und ein höheres Vertrauen in die Systemeinstellung. Die Möglichkeit der individuellen Nachjustierung hätte aus Sicht der Versuchspersonen zu einer schlechteren ergonomischen Einstellung geführt. Eine Person favorisierte die standardisierte Einstellung (ohne Adaption). Die Auswahl wurde damit begründet, dass diese Einstellung für die Versuchsperson als am angenehmsten empfunden wurde.

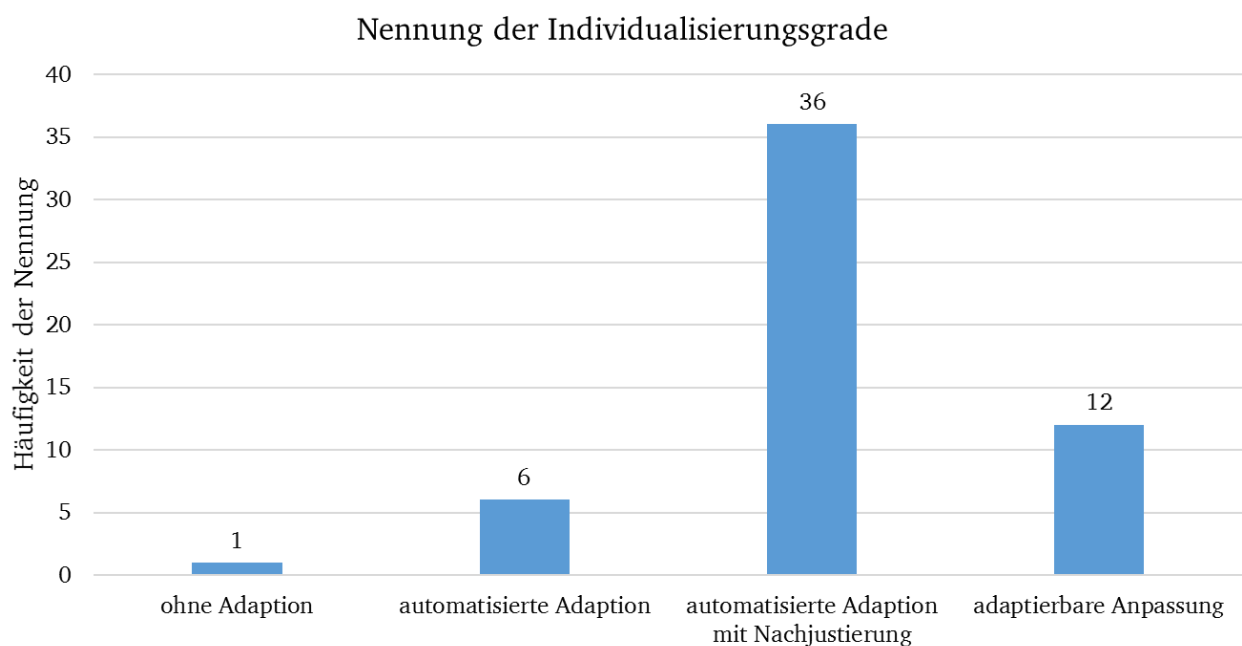


Abbildung 20: Beurteilung der Individualisierungsgrade

Für den Individualisierungsgrad *automatisierte Adaption mit Nachjustierung* wurden die Positionswerte der Aktoren zur Nachvollziehbarkeit der Häufigkeit und Art der Nachjustierung ausgewertet. Es konnte festgestellt werden, dass insgesamt 24 der 55 Versuchspersonen nachjustierten. Die Höheneinstellung wurde für die Materialbereitstellung im Durchschnitt um 2,64 cm nach unten gegenüber der automatisierten Einstellung korrigiert. Die Höhe des Montagetisches wurde bei der Nachjustierung um durchschnittlich 4,72 cm reduziert. Die Einstellung des Greifraums wurde um durchschnittlich 4,59 cm nachjustiert. Hierbei wurde der Greifraum verkleinert.

6.1.2 Auswertung der personenbezogenen Fragen, der Technikaffinität und der Anthropometrie

Final nahmen an der Studie insgesamt 55 Versuchspersonen teil. Der Mittelwert (MW) des Alters lag bei 37,64 Jahren. Die Geschlechterverteilung sowie die Befragung, inwieweit die Versuchspersonen im Stehen arbeiten, ist in Abbildung 21 dargestellt. Es nahmen mehr Männer (56,36 %) als Frauen (43,64 %) sowie keine diversen Personen am Versuch teil. Die meisten Testpersonen gaben an, manchmal im Stehen (38,18 %) oder selten im Stehen (34,55 %) zu arbeiten. 18,18 % der Befragten arbeiten häufig im Stehen. Nie im Stehen arbeiten nur 9,09 % der Befragten.

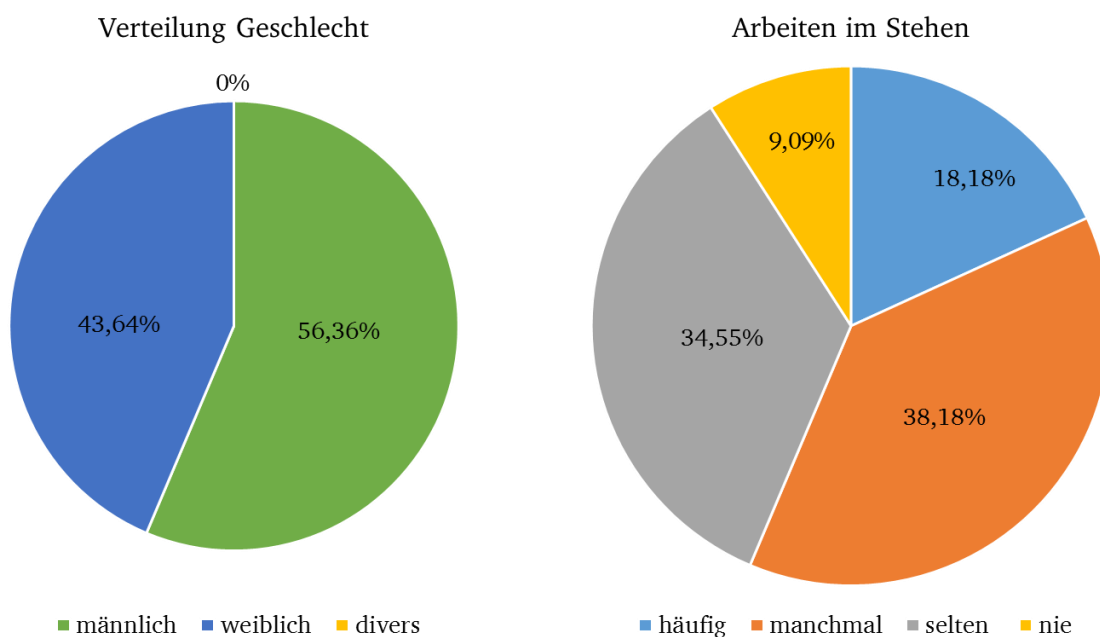


Abbildung 21: Geschlechterverteilung der Versuchspersonen sowie Erfahrungen mit Arbeiten im Stehen

Technikaffinität

In Abbildung 22 lässt sich die Verteilung der Technikaffinität für die Beantwortung des TA-EG-Fragebogens mittels der fünfstufigen Likert-Skala ablesen (1 = stimme gar nicht zu; 5 = stimme voll und ganz zu). Die Daten sind gleichmäßig verteilt, die Länge der Antennen ist auf beiden Seiten ähnlich ausgeprägt. Der Median der Daten liegt bei 3,58, der Mittelwert bei 3,49 Likert-Skalenpunkte. Die Mindestpunktzahl über alle Versuchspersonen liegt bei 2,16 Skalenpunkten, der Maximalwert bei 4,63 Skalenpunkten.

Der Wert des Median wird für die weitere Untersuchung verwendet, um die Stichprobe in technikaffine (Werte über dem Median) und nicht technikaffine Personen (Werte unterhalb des Median) einzuteilen.

Neben der Verteilung der Technikaffinität über alle Versuchspersonen ist für die nachfolgende Hypothesenüberprüfung der Vergleich der Personengruppen „technikaffin“ und „nicht technikaffin“ hinsichtlich des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz interessant (siehe Abbildung 23). Für die Technikaffinität ergibt sich hinsichtlich des subjektiven Anstrengungsempfindens bei den jeweiligen Individualisierungsgraden Unterschiede zwischen den beiden Personengruppen von 0,1 - 0,5 Punktwerten der Borg-Skala. Hierbei fühlen sich technikaffine Personen geringer beansprucht als nicht technikaffine Personen. Die größten Unterschiede werden bei den Individualisierungsgraden *automatisierte Adaption* und *adaptierbare Anpassung* festgestellt (9,68 zu 10,18 Punktwerte für die automatisierte und 9,50 zu 9,98 Punktwerte für die adaptierbare Anpassung).

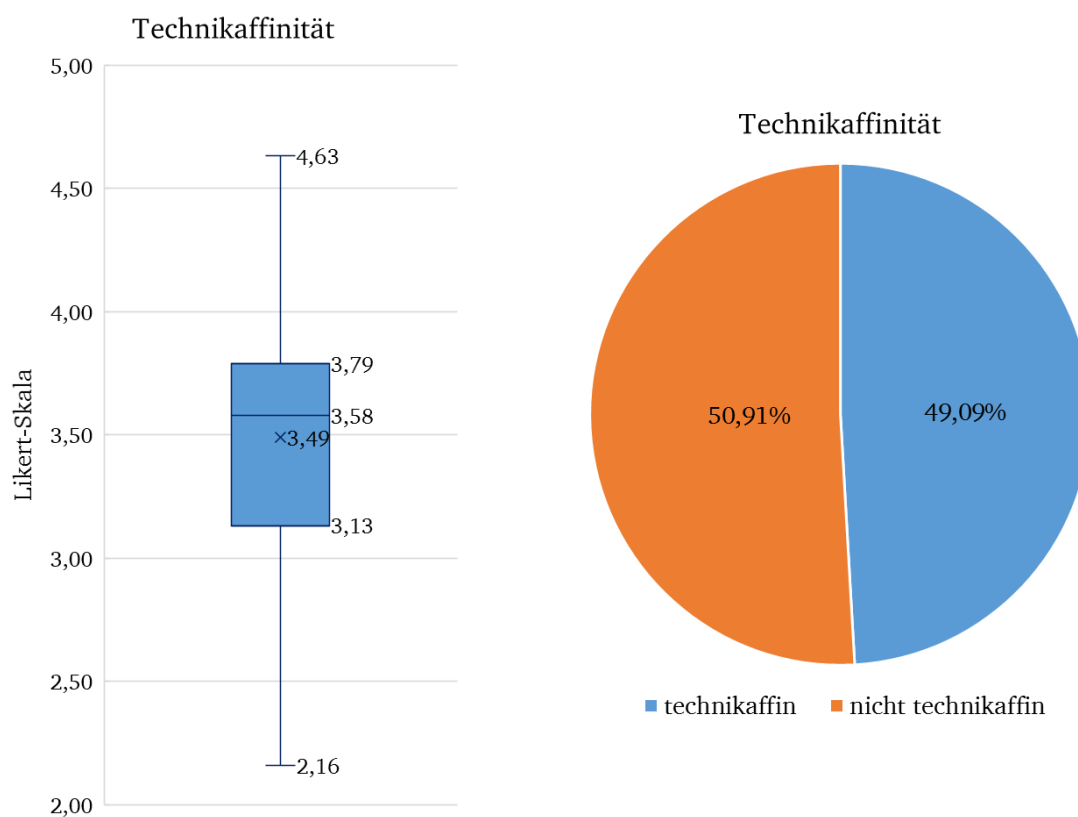


Abbildung 22: Boxplot und prozentuale Verteilung der Technikaffinität (n=55)

Technikaffine Personen weisen insgesamt einen geringeren Technikakzeptanzwert über alle Individualisierungsgrade auf, bei Punktwerten der Likert-Skala von 0,1 - 0,6. Ausnahme bildet der Individualisierungsgrad *automatisierte Adaption mit Nachjustierung*, hier ist der Punktwert der Technikakzeptanz für technikaffine Personen (5,83 Punktwerte) gegenüber den nicht technikaffinen Personen (5,81 Punktwerte) um 0,02 Punktwerte höher. Die größten Unterschiede können bei der Normwertreferenz (3,68 zu 4,28 Punktwerten) und dem Individualisierungsgrad der automatisierten

Adaption (5,28 zu 5,48 Punktwerten) festgestellt werden. Insgesamt fallen die Unterschiede für das subjektive Anstrengungsempfinden und die Technikakzeptanz zwischen den Gruppen gering aus.

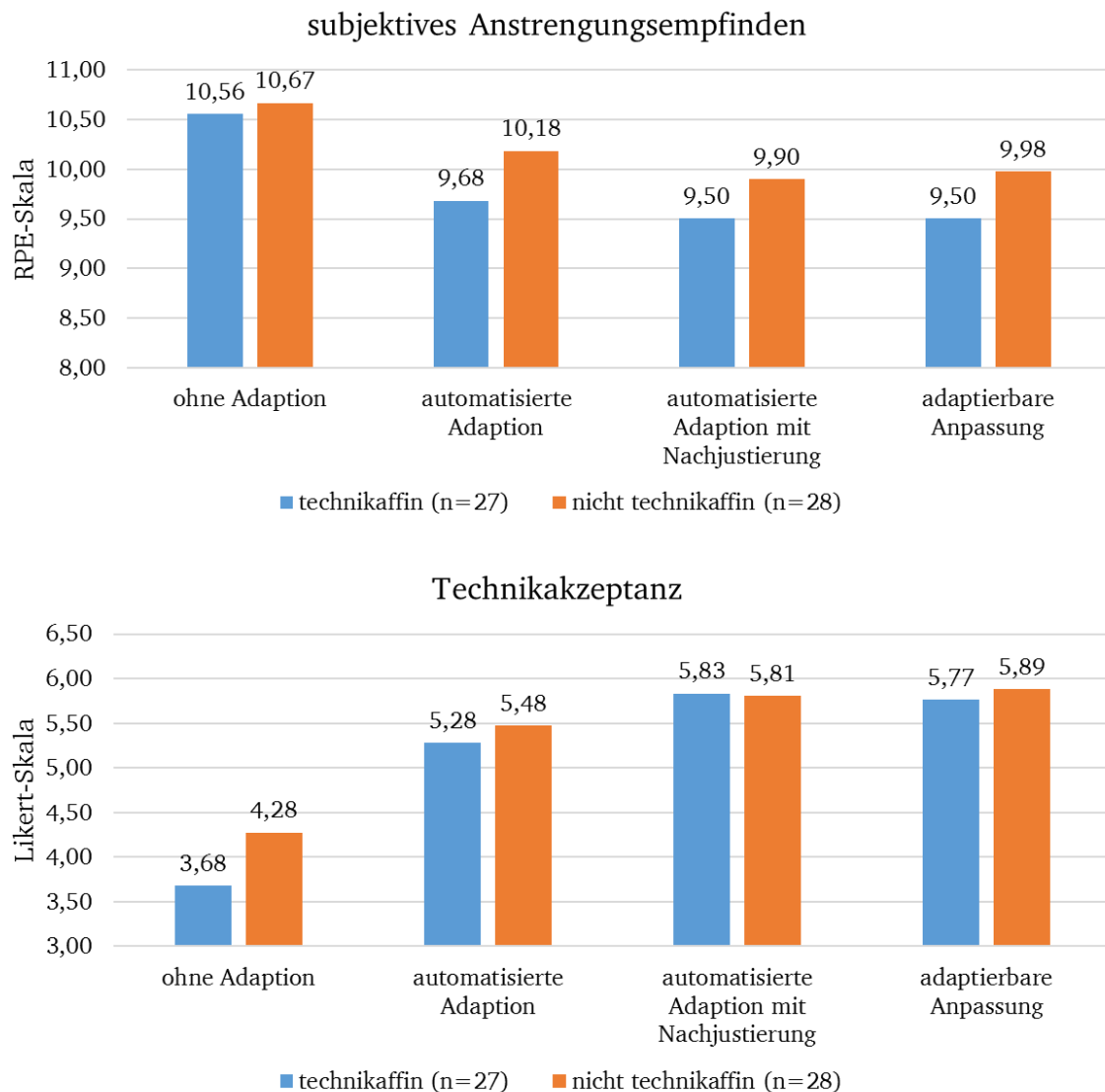


Abbildung 23: Mittelwertvergleich des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz bzgl. der Technikaffinität

Anthropometrie

Die Verteilung der anthropometrischen Werte Körperhöhe, Körpertiefe und Reichweite nach vorn sind Abbildung 24 zu entnehmen. Der Mittelwert der Körperhöhe lag bei 175,85 cm, was ungefähr dem 50. Perzentil Mann entspricht. Die Körpertiefe ist mit einem MW von 29,62 cm vergleichbar mit dem 50. Perzentil Frau. Der Mittelwert der Reichweite nach vorn mit 75,31 cm entspricht circa dem 50. Perzentil Mann. Alle Angaben zu den Perzentilen sind DIN EN ISO 33402-2 entnommen. Insgesamt enthält die Stichprobe fünf Personen, die in mindestens einem der Körpermaße unterhalb des 5. Perzentils liegen sowie 26 Personen, die in mindestens einem der Körpermaße oberhalb des 95. Perzentils liegen.

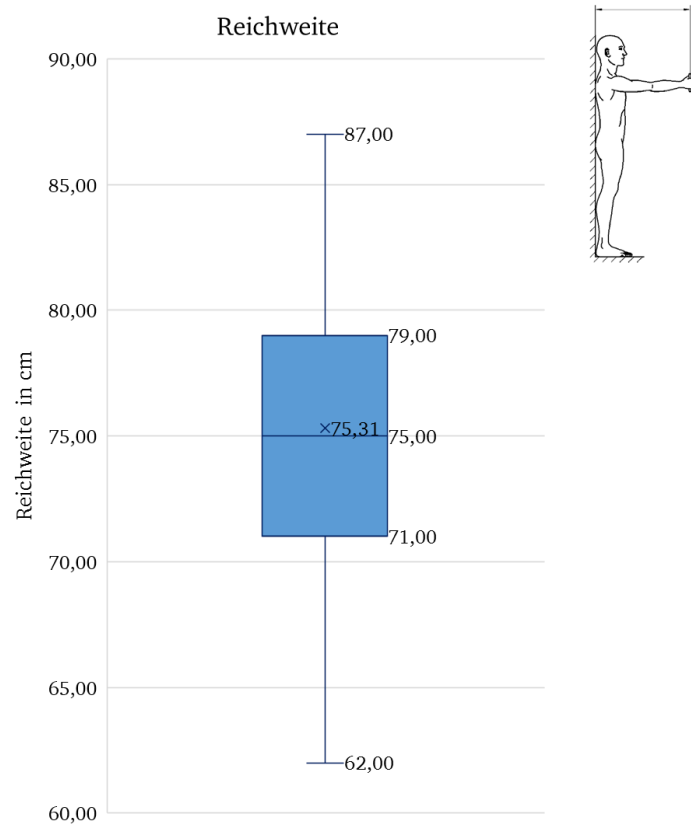
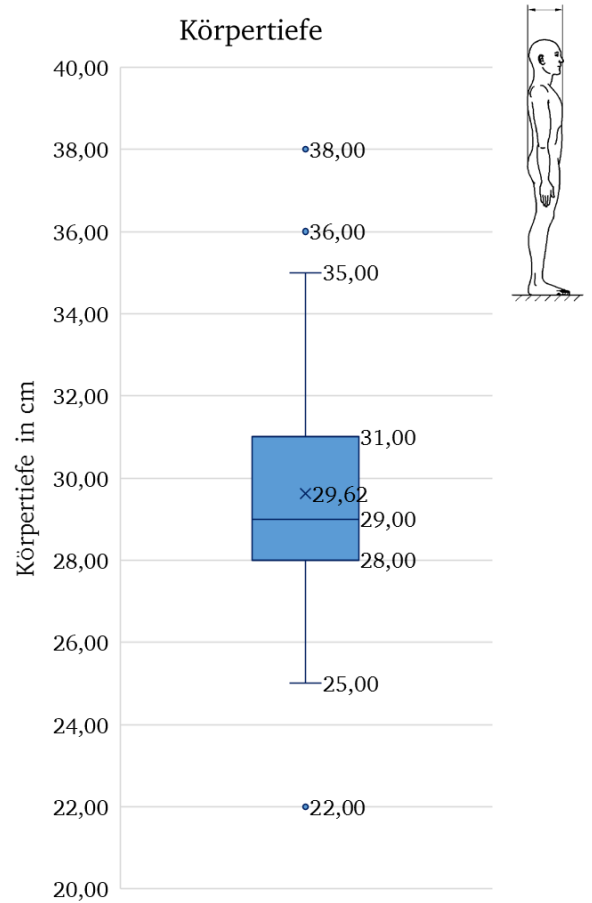
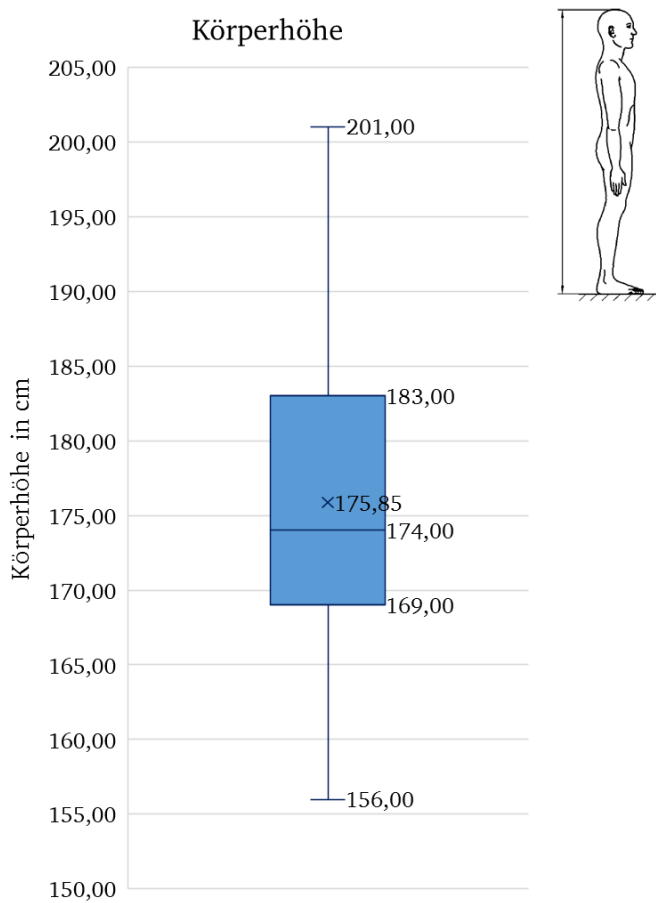


Abbildung 24: Verteilung anthropometrischer Körpermaße in cm (n=55)

Die Vergleiche des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz für die Körperhöhe, zeigt Abbildung 25. Für die Körpertiefe und Reichweite nach vorn sind die Vergleiche in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellt. Hierbei wurden die Personen für jedes anthropometrische Maß anhand der DIN EN ISO 33402-2 in zwei Gruppen eingeteilt. Personen, die nach Schmauder und Spanner-Ulmer (2014) innerhalb der anthropometrischen Grenzwerte für die Dimensionierung für Arbeitsplätze liegen ($>5.$ Perzentil/ $<95.$ Perzentil), bilden eine Gruppe. Personen, die sich außerhalb dieser Grenzwerte befinden, bilden die andere Gruppe ($<5.$ Perzentil/ $>95.$ Perzentil).

Für das subjektive Anstrengungsempfinden können Unterschiede von 0,2 bis 0,5 RPE-Skalenwerte festgestellt werden. Es kann hierbei nicht festgestellt werden, dass Personen, die außerhalb des 5. Perzentils oder des 95. Perzentils liegen, sich mehr oder weniger beansprucht fühlen. In Bezug auf die Körperhöhe geben Personen außerhalb des 5. und 95. Perzentils für die automatisierten Individualisierungsgrade ein höheres Anstrengungsempfinden an (9,98 zu 9,92 RPE-Skalenwerten für die automatisierte Adaption und 9,91 zu 9,63 Punktwerten für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung). Für die Normwertreferenz sowie die adaptierbare Anpassung bewertet diese Personengruppe das subjektive Anstrengungsempfinden geringer (10,36 zu 10,71 Punktwerten ohne Adaption und 9,59 zu 9,8 Punktwerte für die adaptierbare Anpassung). Bei der Körpertiefe geben Personen außerhalb des 5. und 95. Perzentils für die automatisierte Adaption ein höheres Anstrengungsempfinden an (10,81 zu 9,89 RPE-Skalenwerte), bei den anderen Individualisierungsgraden ist das Anstrengungsempfinden dieser Personen geringer (10,43 zu 10,62 RPE-Skalenwerte für die Normwertreferenz, 9,52 zu 9,72 RPE-Skalenwerte für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung und 9,48 zu 9,76 RPE-Skalenwerte für die adaptierbare Anpassung). Zu berücksichtigen gilt hierbei die geringe Stichprobengröße von $n=3$ gegenüber der restlichen Personengruppe von $n=52$. In Bezug auf die Reichweite geben Personen außerhalb des 5. und 95. Perzentils ein höheres Anstrengungsempfinden für den Individualisierungsgrad *automatisierte Adaption mit Nachjustierung* an (9,98 zu 9,63 RPE-Skalenwerte). Bei den anderen Individualisierungsgraden fällt das Anstrengungsempfinden für diese Personengruppe geringer aus (9,80 zu 10,84 RPE-Skalenwerte für die Normwertreferenz, 9,54 zu 10,05 RPE-Skalenwerte für die automatisierte Adaption und 9,51 zu 9,81 RPE-Skalenwerte für die adaptierbare Anpassung). Insgesamt wird das subjektive Anstrengungsempfinden für alle Individualisierungsgrade mit „sehr leicht“ bis „leicht“ bewertet.

Für die Körperhöhe können in Bezug auf die Technikakzeptanz kaum Unterschiede festgestellt werden (0,1-0,2 Likert-Skalenwerte). Personen außerhalb des 5. Perzentils/95. Perzentils weisen eine geringe Technikakzeptanz für die Individualisierungsgrade *automatisierte Adaption* (5,25 zu 5,43 Punktwerte), *automatisierte Adaption mit Nachjustierung* (5,64 zu 5,89 Punktwerte) und *adaptierbare Anpassung* (5,75

zu 5,86 Punktwerte) auf. Für die Normwertreferenz liegt die Technikakzeptanz dieser Personengruppe höher (4,09 zu 3,94 Punktwerte). Für die Körpertiefe zeigt die Technikakzeptanz der Personen außerhalb des 5. Perzentils/95. Perzentils für die adaptierbare Anpassung einen Unterschied von 0,5 Likert-Skalenwerten (5,35 zu 5,85 Punktwerte). Die anderen Technikakzeptanzwerte unterscheiden sich kaum. Personen, die außerhalb des 5. Perzentils/95. Perzentils liegen, haben tendenziell eine geringere Technikakzeptanz. Für die Reichweite können Unterschiedswerte von ca. 0,5 Likert-Skalenpunkte für die automatisierten Adaptionen (5,77 zu 5,27 Punktwerte für die automatisierte Adaption und 6,18 zu 5,72 Punktwerten für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung) sowie ohne Adaption (4,44 zu 3,86 Punktwerte) festgestellt werden. Hier ist die Technikakzeptanz tendenziell höher bei Personen außerhalb des 5. Perzentils/95. Perzentils.

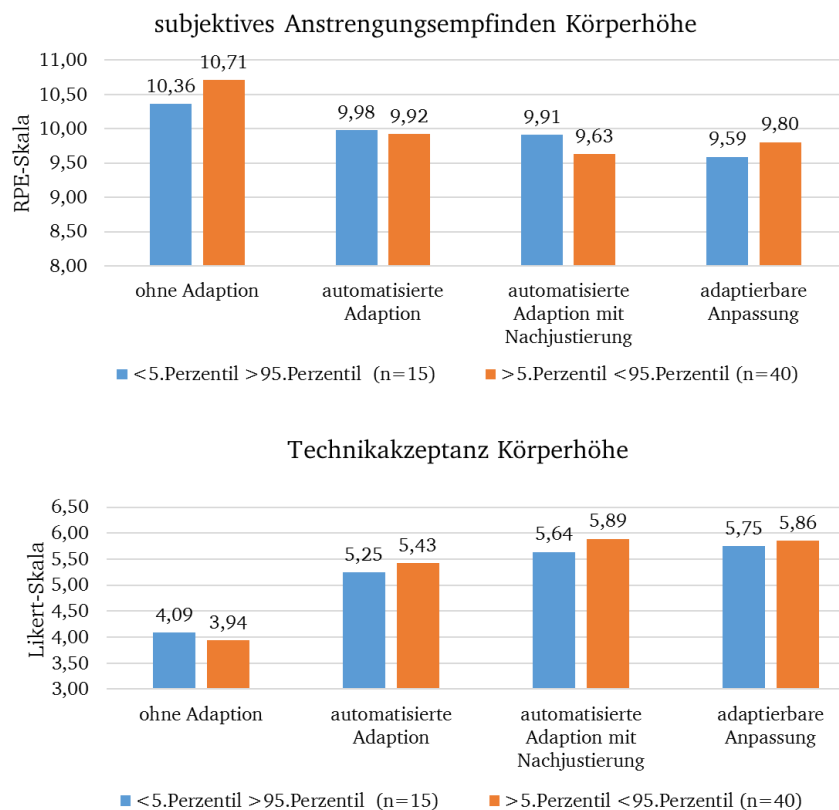


Abbildung 25: Vergleich der Mittelwerte des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz bezüglich der Körperhöhe

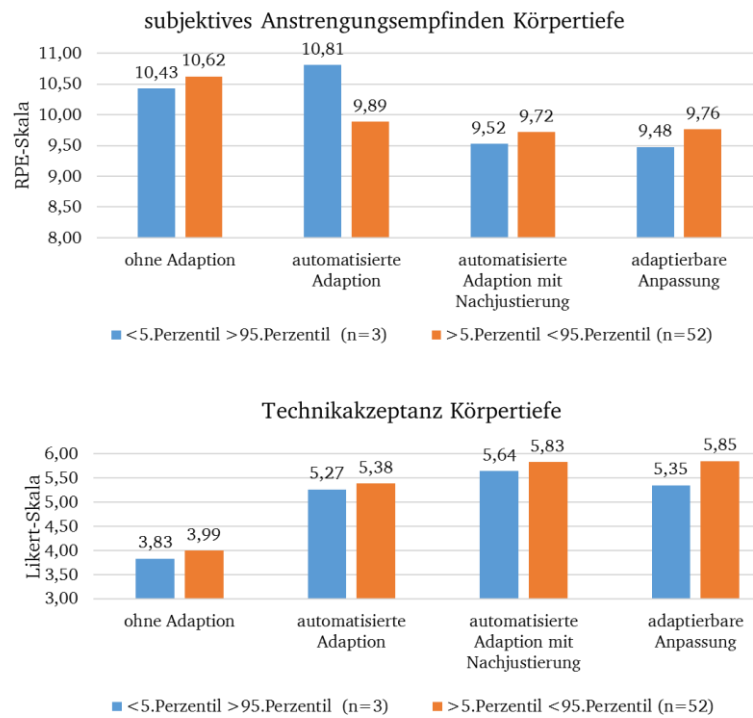


Abbildung 26: Vergleich der Mittelwerte des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz bezüglich der Körpertiefe

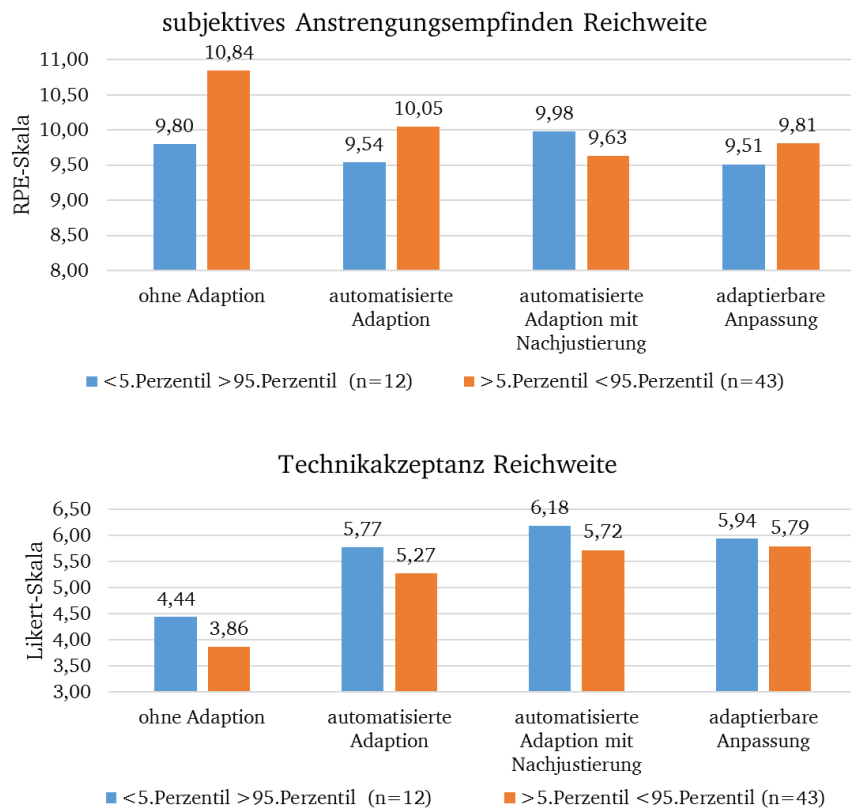


Abbildung 27: Vergleich der Mittelwerte des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz bezüglich der Reichweite

6.1.3 Gelenkwinkelmessung

Wie in Kapitel 5.4 erläutert, werden die Gelenkwinkel von Kopf- und Rumpfnäigung sowie der Oberarmbewegung Flexion/Extension und Abduktion/Adduktion, jeweils rechter und linker Arm, ausgewertet. Bei den Daten handelt es sich um die mittels der Gelenkwinkelabweichung nach Steinebach et al. (2019) und TEA (2017) korrigierten Werte. Für die Tätigkeitsdauer von 45 Minuten wird überprüft, wie häufig Gelenkwinkel der Kategorien „akzeptabel“, „bedingt akzeptabel“ und „nicht akzeptabel“ erreicht wurden. Nach der Sichtung der Rohdaten sowie der Versuchsprotokolle mussten die Daten von 13 Versuchspersonen für die weitere Untersuchung ausgeschlossen werden. Zum einen wurden fehlende Messungen in den Daten festgestellt: Mehrere Sensoren zeichneten zu unterschiedlichen Zeitpunkten keine Daten auf bzw. setzten innerhalb eines Individualisierungsgrades teilweise aus. Zum anderen wurden Messfehler in den Daten festgestellt: Die Gelenkwinkel stiegen während der Zeitaufnahme plötzlich drastisch nach oben oder unten. Bei der Sichtung der Versuchsprotokolle konnte festgestellt werden, dass die Sensoren vor allem im Armbereich bei manchen Versuchsteilnehmenden verrutschten. Wurde bei einer Versuchsperson innerhalb eines Individualisierungsgrades eine Fehlmessung festgestellt, wurden die dazugehörigen Datensätze für die gesamte Auswertung aus den Daten entfernt. Insgesamt konnten 42 vollständige Datensätze untersucht werden.

Kopfneigung

Abbildung 28 stellt die Boxplots der Kopfneigung für die Individualisierungsgrade *ohne Adaption* (oA), *automatisierte Adaption* (mA), *automatisierte Adaption mit Nachjustierung* (mANJ) und *adaptierbare Anpassung* (A) dar, in Tabelle 13 sind die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) abgebildet.

Der Zeitanteil, in dem nicht akzeptable Gelenkwinkel eingenommen werden, wird durch die individualisierbaren Adaptionen reduziert. Im Vergleich zur Normwertreferenz (ohne Adaption) bei einem MW von 19,24 % verringern sich die Zeitanteile für die automatisierte Adaption (MW = 12,90 %). Auch die von den Versuchspersonen selbst vorgenommenen Einstellungen (MW = 10,67 %) sind gegenüber der Normwertreferenz gesunken. Am geringsten belastend sind die Zeitanteile der automatisierten Adaption mit Nachjustierung mit einem MW von 9,36 %. Für die bedingt akzeptablen Zeitanteile nimmt die adaptierbare Anpassung den höchsten Wert ein (MW = 32,02 %), die automatisierten Anpassungen ohne (MW = 21,89 %) und mit Nachjustierung (23,08 %) unterscheiden sich bezüglich ihrer Mittelwerte kaum zur Normwertreferenz (MW = 23,56 %). Die akzeptablen Zeitanteile haben sich dementsprechend für die automatisierte Adaption (MW = 65,20 %) und automatisierte Adaption mit Nachjustierung (MW = 67,56 %) gegenüber der Normwertreferenz

erhöht (MW = 57,29 %). Die akzeptablen Zeitanteile der adaptierbaren Anpassung durch die nutzende Person (MW = 57,31 %) unterscheiden sich nicht wesentlich von der Normwertreferenz. Auffällig sind die hohen Standardabweichungen, die eine Streuung der Daten erkennen lassen. Dies zeigt sich auch in den Boxplots. Für die Kopfneigung können Ausreißer in allen Belastungskategorien festgestellt werden.

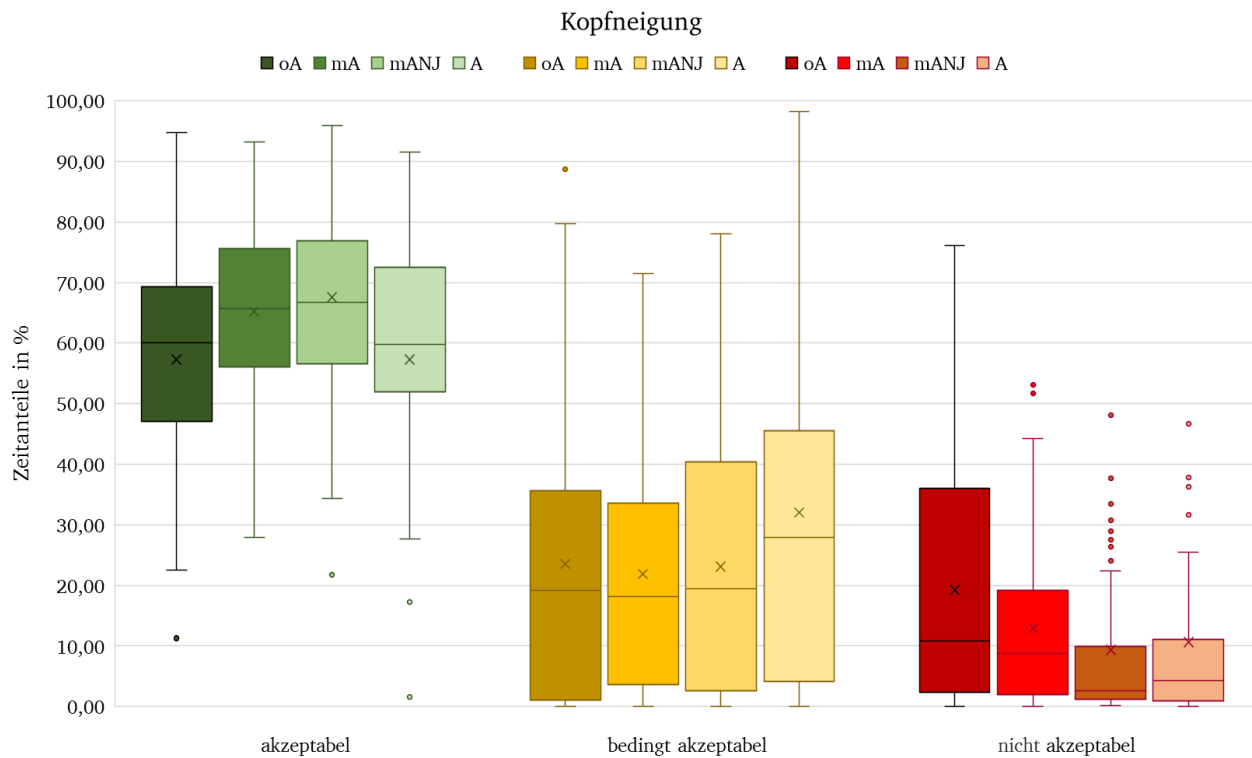


Abbildung 28: Boxplots der Kopfneigung für alle Individualisierungsgrade (n=42)

Tabelle 13: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Zeitanteile je Belastungsbereich für die Kopfneigung (n=42)

Individualisierungsgrad	akzeptabel		bedingt akzeptabel		nicht akzeptabel	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
ohne Adaption	57,29 %	19,34 %	23,56 %	24,78 %	19,24 %	20,93 %
automatisierte Adaption	65,20 %	16,21 %	21,89 %	20,42 %	12,90 %	14,17 %
automatisierte Adaption mit Nachjustierung	67,56 %	16,85 %	23,08 %	21,20 %	9,36 %	12,46 %
adaptierbare Anpassung	57,31 %	24,17 %	32,02 %	30,10 %	10,67 %	14,38 %

Rumpfneigung

Für die Rumpfneigung ergeben sich die Boxplots in Abbildung 29 und die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) in Tabelle 14. Allgemein kann hier festgestellt werden, dass sich nur geringe Zeitanteile im nicht akzeptablen Bereich befinden. Für die nicht akzeptable Belastungskategorie reduzieren sich die Mittelwerte über die Individualisierungsgrade. Hierbei weist die automatisierte Adaption mit Nachjustierung mit 2,31 % den geringsten MW auf. Die adaptierbare Anpassung (MW = 3,55 %) und die automatisierte Adaption (MW = 4,30 %) liegen etwas höher. Die höchste Belastung weist die Normwertreferenz mit einem MW von 7,41 % auf. Im bedingt akzeptablen Bereich erreicht die adaptierbare Anpassung die höchsten Zeitanteile mit einem MW von 15,05 %. Die Normwertreferenz liegt mit einem MW von 13,27 % darunter. Die automatisierte Adaption (MW = 11,46 %) weist geringere Zeitanteile auf. Die geringsten Zeitanteile erreicht die automatisierte Adaption mit Nachjustierung (MW = 8,24 %). Die Zeitanteile für den akzeptablen Bereich verhalten sich ähnlich wie bei der Kopfneigung, die Mittelwerte der individualisierbaren Anpassungen steigen gegenüber der Normwertreferenz (MW = 79,32 %) an. Die Zeitanteile der adaptierbaren Anpassung liegen mit einem MW von 81,40 % etwas höher als die Normwertreferenz. Die Zeitanteile der automatisierten Adaption sind noch einmal gestiegen (MW = 84,25 %). Die höchsten Zeitanteile im akzeptablen Bereich erreicht die automatisierte Adaption mit Nachjustierung (MW = 89,45 %). Die Untersuchung der Boxplots zeigt, dass die Standardabweichungen wie bei der Darstellung der Kopfneigung teilweise eine hohe Streuung aufweisen. Auch hier lassen sich Ausreißer im Datensatz identifizieren, was bei der späteren Hypothesenuntersuchung berücksichtigt werden muss.

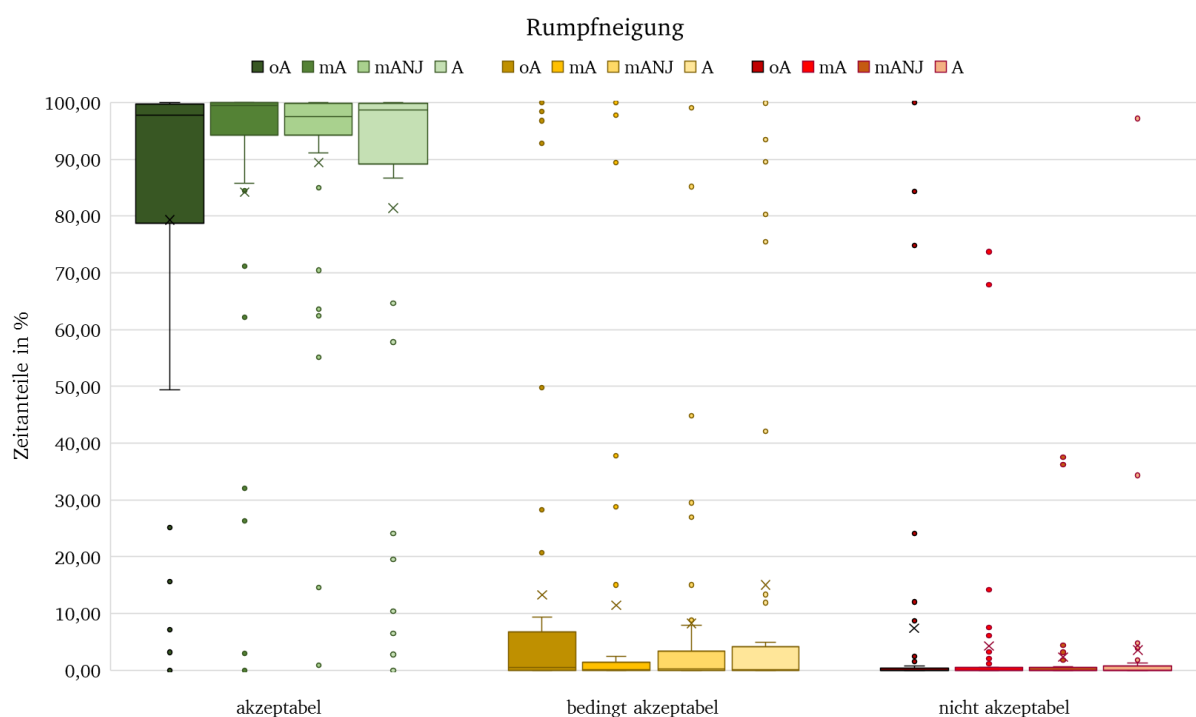


Abbildung 29: Boxplots der Rumpfneigung für alle Individualisierungsgrade (n=42)

Tabelle 14: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Zeitanteile für die Rumpfneigung (n=42)

Individualisierungsgrad	akzeptabel		bedingt akzeptabel		nicht akzeptabel	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
ohne Adaption	79,32 %	34,29 %	13,27 %	29,10 %	7,41 %	22,76 %
automatisierte Adaption	84,25 %	31,93 %	11,46 %	29,03 %	4,30 %	15,29 %
automatisierte Adaption mit Nachjustierung	89,45 %	21,78 %	8,24 %	21,12 %	2,31 %	7,91 %
adaptierbare Anpassung	81,40 %	34,01 %	15,05 %	31,84 %	3,55 %	15,73 %

Flexion/Extension der Schulter

Die Boxplots sowie Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Gelenkwinkel für die Flexion und Extension der Schulter sind in Abbildung 30 und Tabelle 15 aufgezeigt. Für die linke Schulter reduzieren sich die nicht akzeptablen Anteile zwischen der Normwertreferenz (MW = 17,66 %) sowie dem automatisierten Individualisierungsgrad (MW = 17,39 %) und adaptierbaren Individualisierungsgrad (MW = 14,55 %). Der Unterschied zwischen der automatisierten Anpassung mit Nachjustierung und der Normwertreferenz ist mit einem MW von 13,93 % für die linke Schulter am höchsten. In der bedingt akzeptablen Belastungskategorie zeigt sich für die adaptierbare Anpassung die geringsten Zeitanteile (MW = 35,12 %). Die automatisierte Adaption mit Nachjustierung erreicht mit einem MW von 46,83 % einen höheren Zeitanteil. Die höchsten Zeitanteile können bei der automatisierten Adaption (MW = 49,20 %) und der Normwertreferenz (MW = 50,29 %) festgestellt werden. Für die akzeptable Belastungskategorie weist die Normwertreferenz die geringsten Zeitanteile auf (MW = 32,12 %). Die automatisierte Adaption (MW = 33,42 %) sowie die automatisierte Adaption mit Nachjustierung (MW = 39,24 %) liegen höher. Die höchsten Zeitanteile erreicht die adaptierbare Anpassung mit einem MW von 50,33 %.

Bei der rechten Schulter erreicht die Normwertreferenz die höchsten Zeitanteile im nicht akzeptablen Bereich (MW = 20,98 %). Die automatisierte Adaption (MW = 18,48 %) und die automatisierte Adaption mit Nachjustierung (MW = 18,72 %) liegen unter dem Wert der Normwertreferenz. Die adaptierbare Anpassung weist mit einem MW von 15,14 % die niedrigsten Zeitanteile im nicht akzeptablen Bereich auf. Die Mittelwerte der Zeitanteile für die bedingt akzeptable Belastungskategorie sind zwischen Normwertreferenz (MW = 46,19 %), der automatisierten Adaption (MW = 44,93 %) sowie der automatisierten Adaption mit Nachjustierung (MW = 45,61 %) gesunken. Für die adaptierbare Anpassung ist mit einem MW von 38,59 % der größte Unterschied zur Normwertreferenz festzustellen. Für die akzeptable Belastungskategorie lässt sich, wie schon für die Kopf- und Rumpfneigung, eine Steigung der Mittelwerte der Zeitanteile gegenüber der Normwertreferenz (MW =

32,83 %) feststellen. Die automatisierte Adaption (MW = 36,59 %) und die automatisierte Adaption mit Nachjustierung (MW = 35,67 %) weisen höhere Zeitanteile auf. Den höchsten Wert erreicht mit einem MW von 46,27 % die adaptierbare Anpassung. Auch in diesem Datensatz finden sich hohe Standardabweichungen. Ausreißer lassen sich für die Zeitanteile im bedingt akzeptablen und nicht akzeptablen Belastungsbereich feststellen.

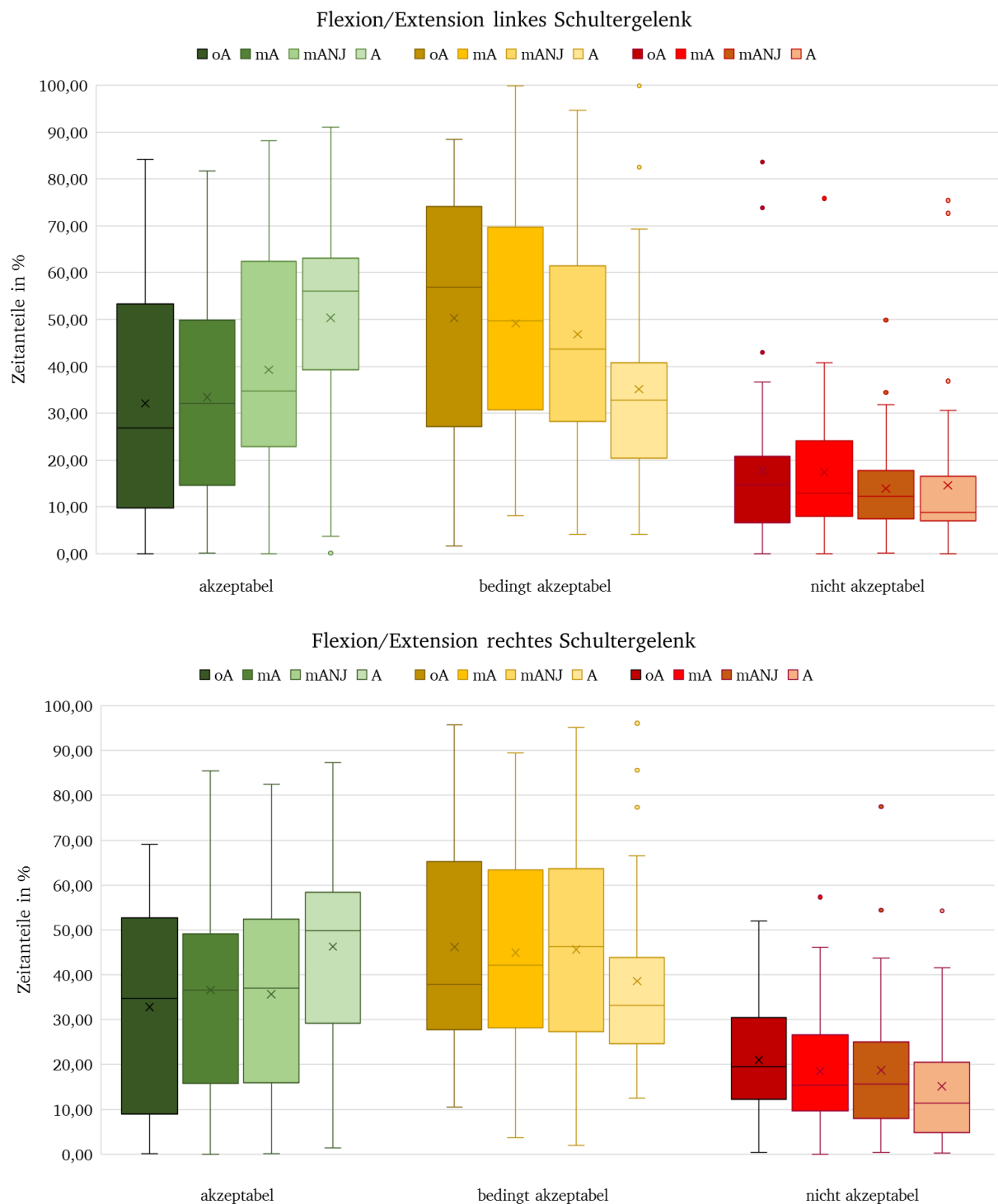


Abbildung 30: Boxplots der Flexion/Extension der Schultergelenke für alle Individualisierungsgrade (n=42)

Tabelle 15: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Zeitanteile für die Schultergelenkwinkel für alle Individualisierungsgrade (n=42)

		akzeptabel		bedingt akzeptabel		nicht akzeptabel	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD
Flexion/ Extension links	oA	32,12 %	25,85 %	50,29 %	25,81 %	17,66 %	17,43 %
	mA	33,42 %	22,57 %	49,20 %	23,03 %	17,39 %	14,05 %
	mANJ	39,24 %	24,15 %	46,83 %	23,04 %	13,93 %	10,03 %
	A	50,33 %	21,94 %	35,12 %	20,67 %	14,55 %	16,07 %
Flexion/ Extension rechts	oA	32,83 %	22,99 %	46,19 %	22,26 %	20,98 %	12,81 %
	mA	36,59 %	23,88 %	44,93 %	23,61 %	18,48 %	12,85 %
	mANJ	35,67 %	23,72 %	45,61 %	22,21 %	18,72 %	15,40 %
	A	46,27 %	21,49 %	38,59 %	19,87 %	15,14 %	13,31 %

Abduktion/Adduktion der Schulter

Die Zeitanteile der Abduktion/Adduktion des Schultergelenks zeigt Abbildung 31, die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) sind in Tabelle 16 dargestellt.

Bei der linken Schulter weisen die automatisierten Individualisierungsgrade im nicht akzeptablen Bereich die geringsten Zeitanteile auf, wobei die automatisierte Adaption mit einem MW von 6,41 % gegenüber der automatisierten Adaption mit Nachjustierung (MW = 7,05 %) als am wenigsten belastend eingestuft werden kann. Die Zeitanteile der Normwertreferenz liegen mit 8,23 % in dieser Belastungskategorie etwas darüber. Für die adaptierbare Anpassung ergibt sich der höchste Wert im Gesamtvergleich (MW = 11,26 %). Im bedingt akzeptablen Bereich lässt sich für die adaptierbare Anpassung der niedrigste Wert der Zeitanteile feststellen (MW = 15,44 %). Die Zeitanteile steigen für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung (MW = 29,77 %) und für die Normwertreferenz (MW = 32,57 %) an. Am höchsten sind hier die Zeitanteile der automatisierten Adaption (34,40 %). Für die akzeptable Belastungskategorie fallen die Zeitanteile für die automatisierte Adaption (MW = 59,18%) und der Normwertreferenz (MW = 59,20%) am niedrigsten aus, wobei sich die Werte kaum voneinander unterscheiden. Der Zeitanteil der automatisierten Adaption mit Nachjustierung fällt mit einem MW von 63,18 % etwas höher aus. Für die adaptierbare Anpassung lässt sich der höchste Mittelwert der Zeitanteile mit 73,29 % feststellen. Die Boxplots zeigen vor allem für den roten Belastungsbereich Ausreißer auf.

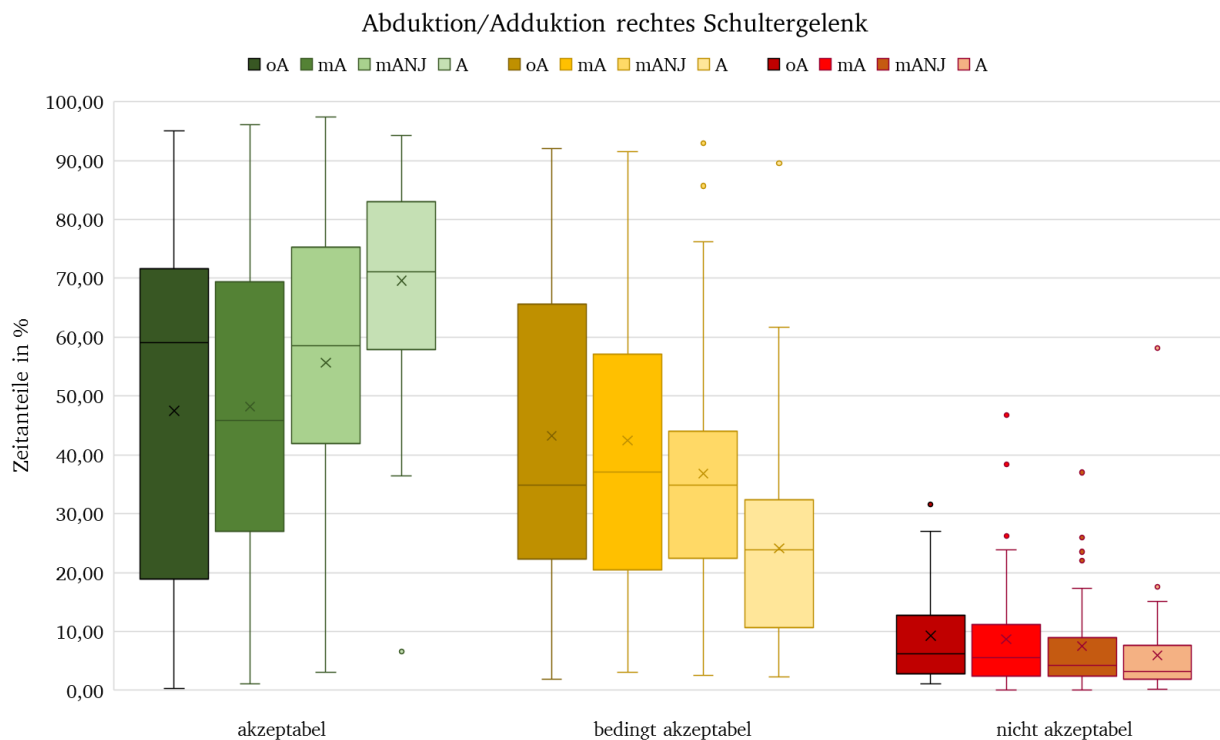
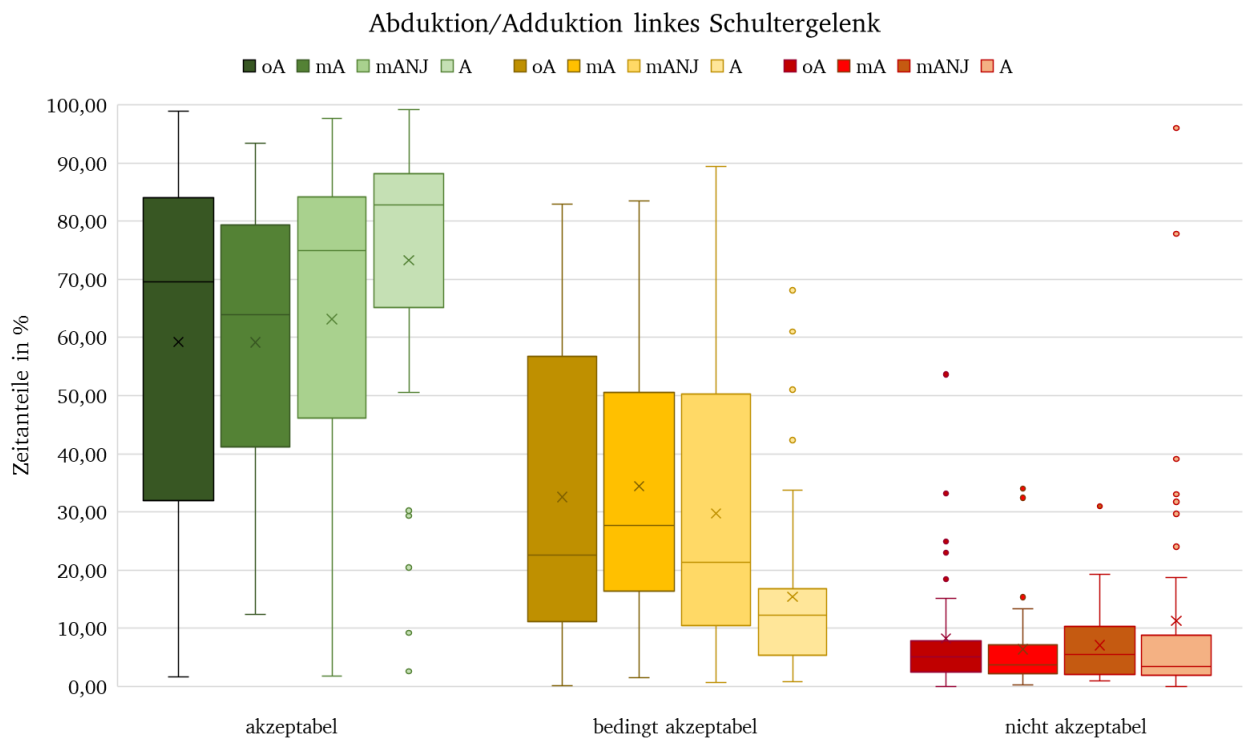


Abbildung 31: Boxplots der Abduktion/Adduktion der Schultergelenke für alle Individualisierungsgrade (n=42)

Für die rechte Schulter weist die adaptierbare Anpassung in der nicht akzeptablen Belastungskategorie den geringsten Mittelwert auf (MW = 5,94 %). Für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung (MW = 7,52%) sowie die automatisierte Adaption (MW = 8,67 %) ergeben sich höhere Zeitanteile. Die höchsten Zeitanteile sind in dieser Belastungskategorie bei der Normwertreferenz zu finden (MW = 9,26

%). Für die bedingt akzeptable Belastungskategorie ergeben sich für die adaptierbare Anpassung die geringsten Zeitanteile (MW = 24,11 %). Der Zeitanteil für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung ist etwas höher (MW = 36,85 %). Am höchsten sind die Zeitanteile in dieser Belastungskategorie für die automatisierte Adaption (MW = 42,47%) und die Normwertreferenz (MW = 43,22 %). Die geringsten Zeitanteile in der akzeptablen Belastungskategorie ergeben sich für die Normwertreferenz (MW = 47,51 %). Die Zeitanteile der automatisierten Adaption (MW = 48,20 %) sowie der automatisierten Adaption mit Nachjustierung liegen darüber (MW = 55,63 %). Die höchsten Zeitanteile erreicht die adaptierbare Anpassung (MW = 69,59 %). Die Standardabweichungen weisen teilweise hohe Werte auf, die Boxplots zeigen vor allem für den nicht akzeptablen Bereich Ausreißerwerte an.

Tabelle 16: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Zeitanteile für die Abduktion/Adduktion für alle Individualisierungsgrade (n=42)

		akzeptabel		bedingt akzeptabel		nicht akzeptabel	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD
Abduktion/ Adduktion links	oA	59,20 %	30,34 %	32,57 %	27,42 %	8,23 %	10,14 %
	mA	59,18 %	24,05 %	34,40 %	23,55 %	6,41 %	7,39 %
	mANJ	63,18 %	27,96 %	29,77 %	25,49 %	7,05 %	6,40 %
	A	73,29 %	23,85 %	15,44 %	15,45 %	11,26 %	19,80 %
Abduktion/ Adduktion rechts	oA	47,51 %	30,24 %	43,22 %	26,99 %	9,26 %	8,14 %
	mA	48,20 %	27,39 %	42,47 %	26,12 %	8,67 %	10,00 %
	mANJ	55,63 %	23,61 %	36,85 %	21,16 %	7,52 %	8,09 %
	A	69,59 %	18,29 %	24,11 %	17,04 %	5,94 %	9,22 %

6.1.4 Subjektives Anstrengungsempfinden

Das subjektive Anstrengungsempfinden konnte von allen Versuchspersonen erhoben werden, daher liegen für die Untersuchung 55 vollständige Datensätze vor. Die deskriptiven Ergebnisse sind in Abbildung 32, die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) sind in Tabelle 17 dargestellt. Zusätzlich zeigt Abbildung 32 die RPE-Skala als Vergleich zur Bewertung der Mittelwerte auf.

Die Versuchspersonen schätzten die Anstrengung bei der Arbeit am Montagearbeitsplatz ohne Adaption am höchsten ein (MW = 10,61). Bei den automatisierten Individualisierungsgraden wird das Anstrengungsempfinden mit einem MW von 9,94 für die automatisierte Adaption und 9,71 RPE-Skalenpunkten für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung geringer eingeschätzt, der

Individualisierungsgrad mit Nachjustierung wurde als am wenigsten anstrengend bewertet. Im Vergleich hierzu nahmen die Personen die adaptierbare Anpassung als etwas anstrengender wahr (MW = 9,75). Allgemein liegen die Bewertungen nach der RPE-Skala von G. Borg (2004) anhand des Mittelwertes betrachtet im sehr leichten bis leichten Bereich. Auffällig ist auch hier die Streuung der Werte um teilweise bis zu 5 Punkten im Vergleich des 25. bzw. 75. Perzentils des Boxplots.

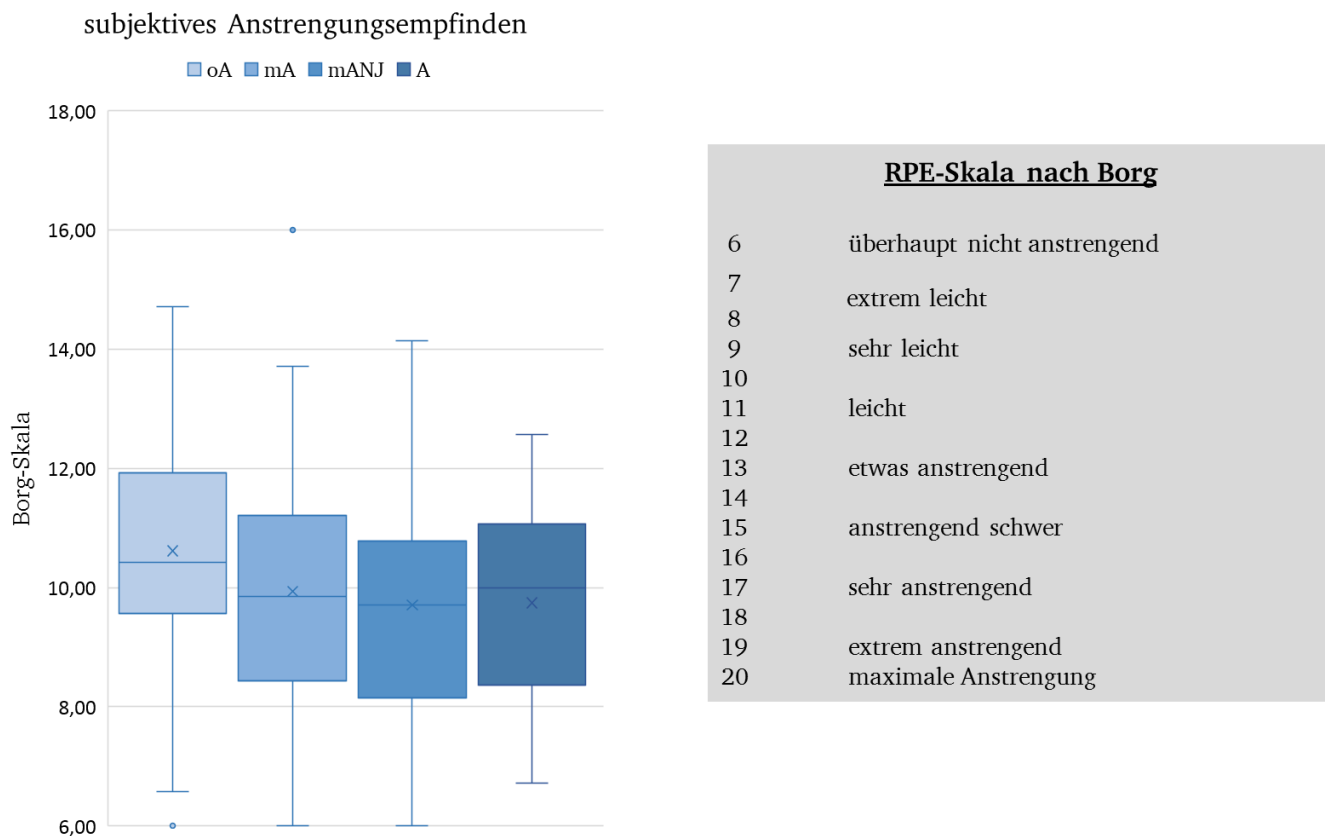


Abbildung 32: Boxplot des subjektiven Anstrengungsempfindens für alle Individualisierungsgrade (n=55)

Tabelle 17: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) des subjektiven Anstrengungsempfindens der RPE-Skala (n=55)

Individualisierungsgrad	MW	SD
ohne Adaption	10,61	1,93
automatisierte Adaption	9,94	1,97
automatisierte Adaption mit Nachjustierung	9,71	1,83
adaptierbare Anpassung	9,75	1,72

6.1.5 Konstrukte des Technikakzeptanzfragebogens

Auch für die Auswertung des Technikakzeptanzfragebogens liegen 55 vollständige Datensätze vor. Der Boxplot für die Konstrukte *Nützlichkeit*, *Einfachheit der Nutzung* und *Kompatibilität* für jeden Individualisierungsgrad findet sich in Abbildung 33, Tabelle 18 zeigt die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) auf.

In den Mittelwerten lässt sich ein wesentlicher Unterschied in den Konstrukten *Nützlichkeit* und *Kompatibilität* zwischen der Normwertreferenz sowie den untersuchten Individualisierungsgraden feststellen. Für die Nützlichkeit liegt der Mittelwert für die Normwertreferenz (MW = 3,88) am niedrigsten, die Versuchspersonen schätzen die automatisierten Individualisierungsgrade höher ein (MW = 5,33 für die automatisierte Adaption und MW = 5,70 für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung). Die adaptierbare Anpassung wird mit einem MW von 5,65 Skalenpunkten am nützlichsten eingeschätzt, wobei der Unterschied zwischen der adaptierbaren Anpassung und der automatisierten Adaption mit Nachjustierung gering ist. Die Kompatibilität der Normwertreferenz wird mit einem MW von 3,81 Skalenpunkten als am geringsten eingeschätzt. Die automatisierten Individualisierungsgrade zeigen eine höhere Kompatibilität auf (MW = 5,24 für die automatisierte Adaption und MW = 5,70 für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung). Die Einstellung an die eigenen Körpermaße wird von den Versuchspersonen positiver eingeschätzt. Am positivsten wird die adaptierbare Anpassung mit 5,73 Skalenpunkten bewertet, auch hier ist der Unterschied zur automatisierten Adaption mit Nachjustierung sehr gering.

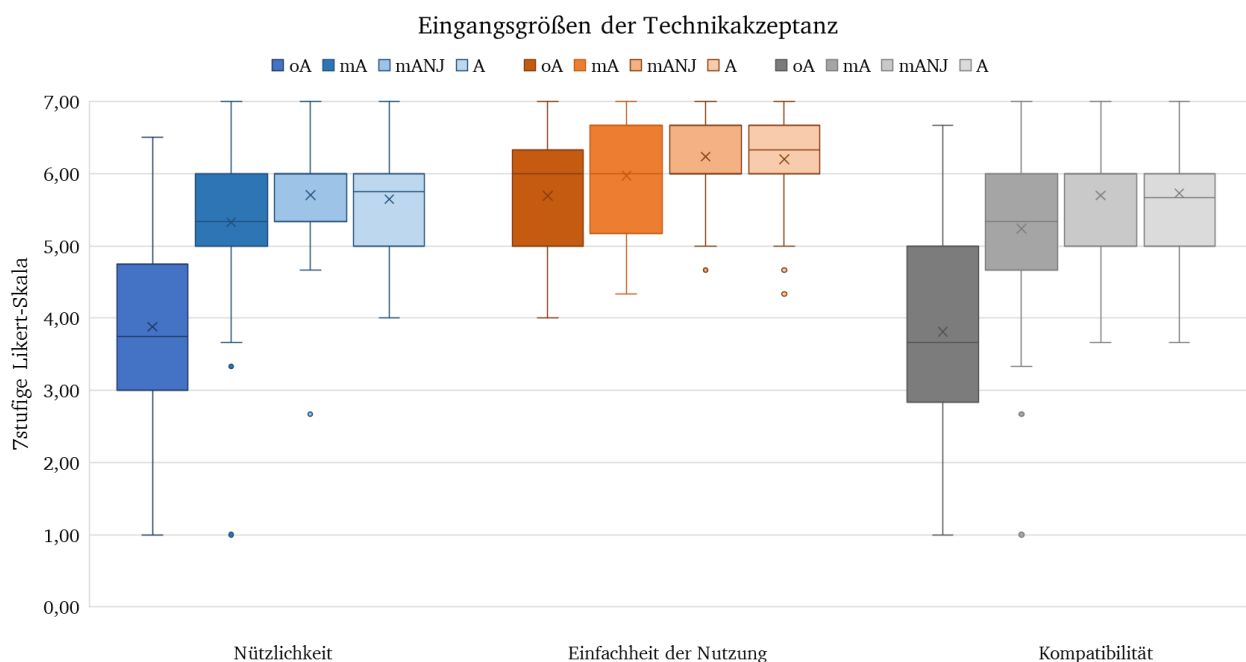


Abbildung 33: Boxplots der Nützlichkeit, Einfachheit der Nutzung und Kompatibilität für alle Individualisierungsgrade (n=55)

Die Einfachheit der Nutzung ist über alle Individualisierungsgrade hoch eingestuft, geht man von der siebenstufigen Likert-Skala aus, bei der Werte größer als 4 als Zustimmung gewertet werden können. Alle Individualisierungsgrade sind aus Sicht der Versuchspersonen ohne größeren Anstrengungen nutzbar. Im Vergleich zur Normwertreferenz (MW = 5,69) liegen die automatisierten Individualisierungsgrade höher (MW = 5,97 für die automatisierte Adaption und MW = 6,24 für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung). Der MW der adaptierbaren Anpassung ist mit 6,20 Skalenpunkten etwas geringer im Vergleich zur automatisierten Adaption mit Nachjustierung. Die Boxplots zeigen für die Einfachheit der Nutzung geringere Streuungen als für die Konstrukte *Nützlichkeit* und *Kompatibilität*. Es können weiterhin Ausreißer identifiziert werden.

Tabelle 18: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Nützlichkeit, Einfachheit der Nutzung und Kompatibilität (n=55)

Individualisierungsgrad	Nützlichkeit		Einfachheit der Nutzung		Kompatibilität	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD
ohne Adaption	3,88	1,37	5,69	0,91	3,81	1,50
automatisierte Adaption	5,33	1,06	5,97	0,84	5,24	1,14
automatisierte Adaption mit Nachjustierung	5,70	0,78	6,24	0,57	5,70	0,86
adaptierbare Anpassung	5,65	0,82	6,20	0,66	5,73	0,82

Die Ergebnisse der Konstrukte *Einstellung zur Nutzung* und *Nutzungsabsicht* sind in Abbildung 34 und Tabelle 19 dargestellt. Das Konstrukt *Einstellung zur Nutzung* unterscheidet sich zwischen den Individualisierungsgraden. Im Vergleich zur Normwertreferenz (MW = 4,15) bewerten die Versuchspersonen das Konstrukt bei der automatischen Adaption positiver (MW = 5,65). Bei der automatisierten Adaption mit Nachjustierung (MW = 6,05) und bei der adaptierbaren Anpassung (MW = 6,01) fällt die Einstellung zur Nutzung noch höher aus.

Das Konstrukt *Nutzungsabsicht* unterscheidet sich zwischen den Individualisierungsgraden. Im Vergleich zur Normwertreferenz (MW = 3,81) bewerten die Versuchspersonen das Konstrukt bei der automatisierten Adaption (MW = 5,10), bei der automatisierten Adaption mit Nachjustierung (MW = 5,59) sowie bei der adaptierbaren Anpassung (MW = 5,64) deutlich positiver.

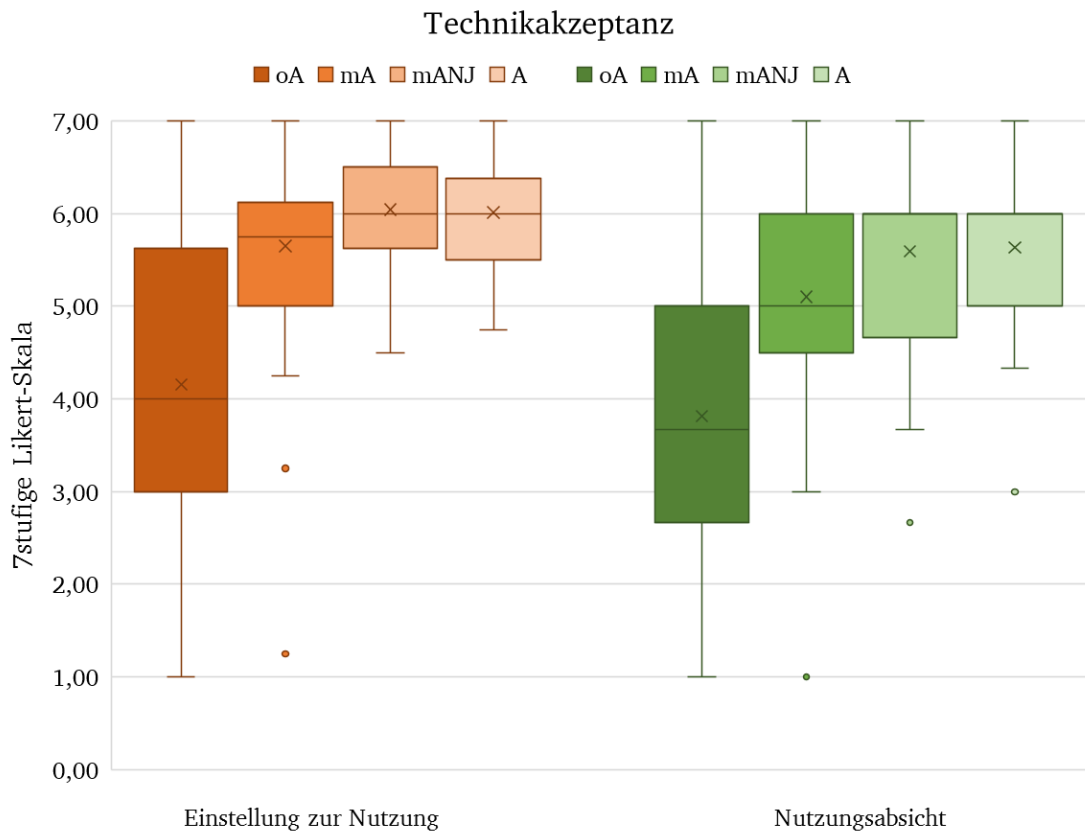


Abbildung 34: Boxplots der Konstrukte Einstellung zur Nutzung und Nutzungsabsicht für alle Individualisierungsgrade (n=55)

Tabelle 19: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der einzelnen Konstrukte Einstellung zur Nutzung und Nutzungsabsicht (n=55)

Individualisierungsgrad	Einstellung zur Nutzung		Nutzungsabsicht	
	MW	SD	MW	SD
ohne Adaption	4,15	1,64	3,81	1,65
automatisierte Adaption	5,65	1,01	5,10	1,17
automatisierte Adaption mit Nachjustierung	6,05	0,65	5,59	0,95
adaptierbare Anpassung	6,01	0,62	5,64	0,88

6.1.6 Umgang mit Ausreißerwerten

Die Boxplots in den vorangegangenen Kapiteln zeigen auf, dass die Daten Ausreißerwerte beinhalten. Nach Rooch (2014) sind dies Werte, die mehr als das 1,5-fache und weniger als das 3-fache des Interquartilabstandes (Boxbreite) von dem untersten (25. Perzentil) bzw. obersten Quartil (75. Perzentil) entfernt sind.

Es ist geplant, die aufgestellten Unterschiedshypothesen mit einer Varianzanalyse zu überprüfen. Dieses parametrische Testverfahren basiert nach Backhaus et al. (2018) auf den Vergleich der arithmetischen Mittel bzw. dem Vergleich der Varianzen der zu untersuchenden Faktoren. Auch die geplante Korrelationsanalyse basiert auf der Nutzung von Mittelwerten (Fahrmeir et al., 2016). Die Autorenschaft stellt fest, dass der Mittelwert empfindlich gegenüber Ausreißerwerten reagiert und die Daten daher bezüglich Ausreißern bereinigt werden sollten. Nach Dixon & Yuen (1974) sind robuste Mittelwerte durch Trimmen oder Winsorisierung der Daten erreichbar. Die Autorenschaft gibt an, dass beim Trimmen Werte, die oberhalb oder unterhalb einer festgesetzten Grenze g liegen, abgeschnitten und für die weitere Auswertung entfernt werden. Somit gehen Daten verloren. Beim Winsorisieren werden die Werte oberhalb und unterhalb von g mit Werten ersetzt, die auf g liegen, der gesamte Datensatz bleibt erhalten. Hedderich & Sachs (2018) schlagen für die Grenze g die Werte 0,05; 0,1 oder 0,2 vor, was bedeutet, dass Werte ober- bzw. unterhalb des 5., 10. oder 20. Perzentils abgeschnitten bzw. ersetzt werden. Die Art der Winsorisierung kann laut Thode (2002) dem Boxplot entnommen werden. Fahrmeir et al. (2016) und Hedderich & Sachs (2018) schlagen das 10. Perzentil vor. Auf Basis dieser Erkenntnisse werden die Daten vor der Berechnung der statistischen Testverfahren mit einer Grenze von $g=0,1$ winsorisiert.

6.1.7 Normalverteilung

Einige parametrische Testverfahren setzen die Normalverteilung der Daten voraus. Der Grenzwertsatz von de Moivre lässt aber die Aussage zu, dass sich für eine größere Stichprobe eine Normalverteilung approximieren lässt (Duller, 2019). Nach Bortz und Schuster (2010) liegt die Grenze, bei der von einer größeren Stichprobe gesprochen werden kann, bei 30 Untersuchungsobjekten. Ab dieser Zahl kann vorausgesetzt werden, dass die Daten annähernd normal verteilt sind.

In dieser Arbeit wird mit Datensätzen von 42 Personen für die Untersuchung der Belastungshypothesen und mit 55 Personen für die Untersuchung des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz gearbeitet, daher muss die Voraussetzung der Normalverteilung für die weitere Untersuchung nicht näher ausgeführt werden.

6.2 Untersuchung der Hypothesen

Das folgende Kapitel geht auf die Auswertung der statistischen Testverfahren und die dazugehörigen Ergebnisse ein.

6.2.1 Vergleich der Gelenkwinkel

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Leithypothesen 1.1 bzgl. der Belastungskategorien „akzeptabel“, „bedingt akzeptabel“ und „nicht akzeptabel“ vorgestellt. Es soll untersucht werden, ob ein signifikanter Unterschied der Belastungen der Kopf- und Rumpfeigung sowie der Flexion/Extension und Abduktion/Adduktion der Schulter besteht. Insgesamt werden 36 Hypothesen getestet, für jede Belastungskategorie werden die Individualisierungsgrade paarweise miteinander verglichen.

Kopfneigung

Der F-Test für die Kopfneigung zeigt in allen Belastungskategorien einen Signifikanzwert unter 0,05, die Gruppen unterscheiden sich somit in allen Kategorien signifikant voneinander:

$$F_{\text{grün}}(2,51;102,84) = 9,59, p < 0,001, f = 0,48$$

$$F_{\text{gelb}}(2,41;98,77) = 5,16, p < 0,001, f = 0,36$$

$$F_{\text{rot}}(2,53;103,90) = 9,06, p < 0,001, f = 0,47$$

Die Effektstärke weist nach Cohen (1988) einen mittleren bis starken Effekt auf.

Die Ergebnisse der Bonferroni-Korrektur für den Post-hoc-Test zeigt Tabelle 20. Für den akzeptablen Bereich zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Individualisierungsgraden *ohne Adaption* und *automatisierte Adaption*, sowie *ohne Adaption* und *automatisierte Adaption mit Nachjustierung*, die Zeitanteile steigen gegenüber der Normwertreferenz (ohne Adaption). Auch die Individualisierungsgrade *automatisierte Adaption mit Nachjustierung* und *adaptierbare Anpassung* unterscheiden sich signifikant. Für den bedingt akzeptablen Bereich kann ein Unterschied zwischen den Individualisierungsgraden *ohne Adaption* und *adaptierbare Anpassung* sowie ein Unterschied zwischen *automatisierte Adaption mit Nachjustierung* und *adaptierbare Anpassung* festgestellt werden. Für die nicht akzeptable Belastungskategorie zeigt der Paarvergleich signifikante Unterschiede der adaptierbaren, automatisierten und automatisierten Adaption mit Nachjustierung, die Zeitanteile sinken.

Tabelle 20: Ergebnisse des Post-hoc-Tests für die Kopfneigung in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42)

		MW	SD	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	adaptierbare Anpassung
<u>akzeptabel</u>	ohne Adaption	56,45	16,91	+ 9,82*		+12,74*	+1,43
	automatisierte Adaption	66,27	13,24	-9,82*		+2,92	-8,39
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	69,19	13,35	-12,74*		-2,92	-11,31*
	adaptierbare Anpassung	57,88	21,37	-1,43		+8,39	+11,31*
<u>bedingt akzeptabel</u>	ohne Adaption	22,80	23,00	-2,66		-1,39	+8,20*
	automatisierte Adaption	20,14	16,74	+2,66		+1,27	+10,86*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	21,41	17,94	+1,39		-1,27	+9,59*
	adaptierbare Anpassung	31,00	27,89	-8,20*		-10,86*	-9,59*
<u>nicht akzeptabel</u>	ohne Adaption	17,68	17,26	-6,60*		-9,08*	-8,22*
	automatisierte Adaption	11,08	9,86	+6,60*		-2,48	-1,62
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	8,60	10,51	+9,08*		+2,48	+0,86
	adaptierbare Anpassung	9,46	11,75	+8,22*		+1,62	-0,86

* Die mittlere Differenz ist auf dem 0,05-Niveau signifikant.

Rumpfneigung

Für die Rumpfneigung konnte bei der Berechnung der Varianzanalyse mit Messwiederholung festgestellt werden, dass sich im Datensatz trotz Winsorisierung weiterhin starke Ausreißer befinden (vgl. Boxplot in Anhang 0). Nach Eckstein (2016) sind extreme Ausreißer im Statistikprogramm SPSS Werte, die mehr als das 3-fache des Interquartilabstandes entfernt liegen. Das Programm kennzeichnet diese Werte mit

einem Stern. Wie schon in Kapitel 6.1.6 dargestellt, ist ein robuster Mittelwert für die Berechnung der Varianzanalyse mit Messwiederholung notwendig. Diese Bedingung ist für die Werte der Rumpfnäigung nicht erfüllt. Dies kann dazu führen, dass die Testung des Unterschieds der Mittelwerte nicht mehr exakt durchgeführt wird, die Trennschärfe des parametrischen Tests sinkt, es sollte eine nichtparametrische Alternative genutzt werden (du Prel et al., 2010). Nach Zimmerman & Zumbo (1993) ist der Friedman-Test eine nichtparametrische Test-Alternative zur Varianzanalyse mit Messwiederholung. Es wird daher entschieden, für die Werte der Rumpfnäigung einen Friedman-Test durchzuführen. Auch hier wird zuerst die Signifikanz überprüft, ob sich die Gruppen allgemein unterscheiden. Ist der Friedman-Test signifikant, kann anschließend ein Post-hoc-Test mit Bonferroni-Korrektur zur Überprüfung der paarweisen Signifikanzen durchgeführt werden. Die Berechnung des Friedman-Tests ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zeitanteilen der Rumpfnäigung ($p = 0,116$ für akzeptablen Bereich, $p = 0,109$ für bedingt akzeptablen und $p = 0,811$ für nicht akzeptablen Bereich)

Abduktion/Adduktion des linken Schultergelenks

Für die Analyse der Varianz mit Messwiederholung für die Abduktion/Adduktion des linken Schultergelenkes lassen sich für die Belastungskategorien „akzeptabel“ und „bedingt akzeptabel“ signifikante Unterschiede zwischen den Individualisierungsgraden feststellen. Es ergibt sich ein mittlerer Effekt für die grüne Belastungskategorie, einen starken Effekt für die gelbe und einen geringen Effekt für die rote Kategorie:

$$F_{\text{grün}}(3,00;123,00) = 5,00, p < 0,001, f = 0,35$$

$$F_{\text{gelb}}(2,58;105,73) = 14,43, p < 0,001, f = 0,60$$

$$F_{\text{rot}}(2,22;91,15) = 2,34, p = 0,10, f = 0,24$$

Ergebnisse des Post-hoc-Testes sind in Tabelle 21 gezeigt. In der akzeptablen und bedingt akzeptablen Belastungskategorie unterscheidet sich der Individualisierungsgrad *adaptierbare Anpassung* signifikant bezüglich der Normwertreferenz (ohne Adaption) sowie den beiden automatisierten Individualisierungsgraden.

Tabelle 21: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Abduktion/Adduktion des linken Schultergelenks in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42)

		MW	SD	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	adaptierbare Anpassung
akzeptabel	ohne Adaption	59,40	28,63	+0,18		+3,80	+14,76*
	automatisierte Adaption	59,59	22,30	-0,18		+3,62	+14,58*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	63,20	26,33	-3,80	-3,62	+10,96*	
	adaptierbare Anpassung	74,16	20,01	-14,76*	-14,58*	-10,96*	
bedingt akzeptabel	ohne Adaption	32,72	26,69	+1,44		-3,46	-19,80*
	automatisierte Adaption	34,16	21,49	-1,44		-4,90	-21,24*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	29,27	23,20	+3,46	+4,90	-16,35*	
	adaptierbare Anpassung	12,92	9,00	+19,80*	+21,24*	+16,35*	
nicht akzeptabel	ohne Adaption	6,94	5,74	-1,54		-0,38	+1,63
	automatisierte Adaption	5,40	4,37	+1,53		+1,16	+3,17
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	6,56	5,00	+0,38	-1,16	+2,01	
	adaptierbare Anpassung	8,57	10,64	-1,63	-3,17	-2,01	

* Die mittlere Differenz ist auf dem 0,05-Niveau signifikant.

Abduktion/Adduktion des rechten Schultergelenks

Für die Varianzanalyse der Abduktion und Adduktion des rechten Schultergelenks konnten für alle Belastungskategorien signifikante Unterschiede zwischen den Individualisierungsgraden festgestellt werden. Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse des Post-hoc-Testes.

Die Effektstärken weisen alle einen starken Effekt auf:

$$F_{\text{grün}}(3,00;123,00) = 20,18, p < 0,001, f = 0,70$$

$$F_{\text{gelb}}(3,00;123,00) = 17,60, p < 0,001, f = 0,66$$

$$F_{\text{rot}}(2,41;98,88) = 7,44, p < 0,001, f = 0,43$$

Tabelle 22: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Abduktion/Adduktion des rechten Schultergelenks in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42)

		MW	SD	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	adaptierbare Anpassung
<u>akzeptabel</u>	ohne Adaption	45,92	27,50		+1,61	+9,75	+25,18*
	automatisierte Adaption	47,53	24,96	-1,61		+8,15	+23,57*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	55,67	18,60	-9,75	-8,15		+15,43*
	adaptierbare Anpassung	71,10	14,00	-25,18*	-23,57*	-15,43*	
<u>bedingt akzeptabel</u>	ohne Adaption	44,38	24,23		-2,15	-7,88	-21,89*
	automatisierte Adaption	42,23	24,93	+2,15		-5,74	-19,74*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	36,50	16,90	+7,89	+5,74		-14,00*
	adaptierbare Anpassung	22,49	12,13	+21,89*	+19,74*	+14,00*	
<u>nicht akzeptabel</u>	ohne Adaption	8,59	6,61		-1,61	-2,12	-4,13*
	automatisierte Adaption	6,98	5,58	+1,61		-0,51	-2,52*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	6,47	5,37	+2,12	+0,51		-2,01*
	adaptierbare Anpassung	4,46	3,32	+4,13*	+2,52*	+2,01*	

* Die mittlere Differenz ist auf dem 0,05-Niveau signifikant.

Für den rechten Oberarm lassen sich paarweise Unterschiede zwischen der adaptierbaren Anpassung zu allen anderen Individualisierungsgraden feststellen. Dies gilt für alle drei Belastungskategorien. Alle anderen Paarvergleiche liefern keine signifikanten Ergebnisse.

Flexion/Extension des linken Schultergelenks

Die Testung der Werte der Flexion/Extension des linken Schultergelenks konnte für alle drei Belastungskategorien signifikante Gruppenunterschied feststellen:

$$F_{\text{grün}}(3,00;123,00) = 17,88, p < 0,001, f = 0,66$$

$$F_{\text{gelb}}(3,00;123,00) = 20,06, p < 0,001, f = 0,70$$

$$F_{\text{rot}}(3,00;123,00) = 2,91, p = 0,04, f = 0,27$$

Die Effektstärken sind für die grüne und gelbe Belastungskategorie als stark, für die rote Kategorie als mittel einzustufen.

Die Post-hoc-Tests liefern für die grüne und gelbe Belastungskategorie paarweise signifikante Unterschiede zwischen der adaptierbaren Anpassung und den anderen Individualisierungsgraden. Für die rote Belastungskategorie konnte mit dem Post-hoc-Test und der Bonferroni-Korrektur der in der Varianzanalyse detektierte Unterschied von Individualisierungswerten nicht festgestellt werden. Dies könnte an der Art des Tests liegen, die Bonferroni-Korrektur ist als konservativ einzuschätzen (Bortz, 2010). Der paarweise Vergleich der Individualisierungsgrade *automatisierte Adaption* und der *Adaption mit Nachjustierung* wies aber ein Signifikanzniveau von $p=0,05$ auf. Auch eine Überprüfung der paarweisen Vergleiche mittels der Alpha-Korrektur nach Sidak lieferte einen Unterschied von $p=0,05$ und konnte so nicht eindeutig als signifikantes Ergebnis identifiziert werden. Ein t-Test für abhängige Stichproben zur Überprüfung dieser Tendenz lieferte einen signifikanten Unterschied zwischen der automatisierten Adaption und der Adaption mit Nachjustierung mit $p<0,001$. Somit wird eine Signifikanz für diesen Paarvergleich angenommen. Tabelle 23 veranschaulicht die Ergebnisse.

Tabelle 23: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Flexion/Extension des linken Schultergelenks in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42)

		MW	SD	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	adaptierbare Anpassung
<u>akzeptabel</u>	ohne Adaption	30,28	22,59	+2,85		+8,56	+21,33*
	automatisierte Adaption	33,13	19,90	-2,84		+5,72	+18,48*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	38,84	22,70	-8,56	-5,72	+12,77*	
	adaptierbare Anpassung	51,61	16,64	-21,33*	-18,48*	-12,77*	
<u>bedingt akzeptabel</u>	ohne Adaption	51,20	23,64	-2,06		-5,28	-20,61*
	automatisierte Adaption	49,13	19,99	+2,07		-3,22	-18,54*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	45,91	19,33	+5,28	+3,22	-15,33*	
	adaptierbare Anpassung	30,59	10,30	+20,61*	+18,54*	+15,33*	
<u>nicht akzeptabel</u>	ohne Adaption	15,70	10,55	+0,52		-2,83	-2,68
	automatisierte Adaption	16,21	9,45	-0,52		-3,34*	-3,20
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	12,87	6,49	+2,83	+3,34*	+0,15	
	adaptierbare Anpassung	13,02	8,28	+2,68	+3,20	-0,15	

* Die mittlere Differenz ist auf dem 0,05-Niveau signifikant.

Flexion/Extension des rechten Schultergelenks

Für die Teilbewegung Flexion/Extension des rechten Schultergelenks konnten signifikante Unterschiede über alle Individualisierungsgrade festgestellt werden.

Es ergibt sich eine starke Effektstärke für die akzeptable Belastungskategorie und eine mittlere Effektstärke für die bedingt akzeptable und nicht akzeptable Belastungskategorie:

$$F_{\text{grün}}(3,00;123,00) = 8,18, p < 0,001, f = 0,45$$

$$F_{\text{gelb}}(3,00;123,00) = 4,48, p < 0,001, f = 0,33$$

$$F_{\text{rot}}(2,64;108,36) = 5,96, p < 0,001, f = 0,38$$

Die Ergebnisse des Post-hoc-Testes zeigt Tabelle 24. Für diese Teilbewegung lassen sich beim paarweisen Vergleich in der grünen Belastungskategorie signifikante Unterschiede zwischen der adaptierbaren Anpassung und allen anderen Individualisierungsgraden feststellen. Der Post-hoc-Test für die gelbe Belastungskategorie zeigt paarweise signifikante Unterschiede zwischen dem adaptierbaren Individualisierungsgrad sowie der Normwertreferenz und der automatisierten Anpassung mit Nachjustierung. Für die rote Belastungskategorie sind die paarweisen Vergleiche der adaptierbaren Anpassung mit der Normwertreferenz und der automatisierten Anpassung signifikant unterschiedlich.

Tabelle 24: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Flexion/Extension des rechten Schultergelenks in allen Belastungskategorien, Vergleich der Zeitanteile in % (n=42)

		MW	SD	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	adaptierbare Anpassung
<u>akzeptabel</u>	ohne Adaption	32,55	22,11		+3,24	+2,97	+14,48*
	automatisierte Adaption	35,79	21,72	-3,24		-0,27	+11,25*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	35,52	20,49	-2,97	+0,27		+11,52*
	adaptierbare Anpassung	47,03	19,22	-14,48*	-11,25*	-11,52*	
<u>bedingt akzeptabel</u>	ohne Adaption	46,35	20,60		-2,10	-0,42	-9,09*
	automatisierte Adaption	44,25	21,23	2,10		+1,68	-7,00
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	45,93	19,35	+0,42	-1,68		-8,68*
	adaptierbare Anpassung	37,26	16,25	+9,09*	+7,00	+8,68*	

<u>nicht akzeptabel</u>	ohne Adaption	20,94 11,64	-3,31	-3,44	-7,02*
	automatisierte Adaption	17,63 9,96	+3,31	-0,14	-3,71*
	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	17,50 11,39	+3,44	+0,14	-3,57
	adaptierbare Anpassung	13,92 9,49	+7,02*	+3,71*	+3,57

* Die mittlere Differenz ist auf dem 0,05-Niveau signifikant.

Insgesamt kann für Leithypothese 1.1 vier Hypothesen für alle Belastungskategorien und 15 Hypothesen für 2 der 3 Belastungskategorien angenommen werden.

6.2.2 Betrachtung des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz

Für die Faktoren subjektives Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz wird zum einen eine Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt, um Leithypothesen 1.2 und 1.3 zu überprüfen, die einen signifikanten Unterschied des subjektiven Anstrengungsempfindens bei allen paarweisen Vergleichen der Individualisierungsgrade erwartet. Gleiches gilt für die Technikakzeptanz, auch hier wird ein signifikanter Unterschied bei jedem Paarvergleich untersucht. Zum anderen erfolgt eine Produkt-Moment-Korrelation für die Prüfung der Leithypothese 2.1, bei der ein Zusammenhang zwischen subjektiven Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz vermutet wird. Die Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

Subjektives Anstrengungsempfinden

Für die Gruppenvergleiche des subjektiven Anstrengungsempfindens konnte ein signifikanter Unterschied der Individualisierungsgrade bei einem starken Effekt nachgewiesen werden:

$$F(2,80;151,24) = 13,81, p < 0,001, f = 0,51$$

Die Ergebnisse des Post-hoc-Testes sind Tabelle 25 zu entnehmen. Der paarweise Vergleich zeigte signifikante Unterschiede der Adaptionsgrade automatisiert, automatisiert mit Nachjustierung und adaptierbar zur Normwertreferenz, hierbei ist die Einstufung der Borg-Skala gegenüber der Normwertreferenz gesunken. Weitere Signifikanzen konnten nicht festgestellt werden.

Tabelle 25: Ergebnis des Post-hoc-Tests für das subjektive Anstrengungsempfinden, Vergleich der RPE-Skala (n=55)

	MW	SD	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	adaptierbare Anpassung
ohne Adaption	10,70	1,49		-0,85*	-1,20*	-0,97*
automatisierte Adaption	9,85	1,54	+0,85*		-0,35	-0,13
automatisierte Adaption mit Nachjustierung	9,50	1,43	+1,20*	+0,35		+0,22
adaptierbare Anpassung	9,72	1,64	+0,97*	+0,13	-0,22	

* Die mittlere Differenz ist auf dem 0,05-Niveau signifikant.

Technikakzeptanz

Für die Varianzanalyse mit Messwiederholung der Technikakzeptanz konnte ein signifikanter Gruppenunterschied mit einem hohen Effekt festgestellt werden:

$$F(1,49;80,52) = 70,83, p < 0,001, f = 1,14$$

Die adaptierbare Anpassung, die automatisierte Anpassung sowie die automatisierte Anpassung mit Nachjustierung unterscheiden sich signifikant von der Normwertreferenz (ohne Adaption). Zusätzlich unterscheiden sich die automatisierte Anpassung und die automatisierte Anpassung mit Nachjustierung signifikant. Auch zwischen der adaptierbaren Anpassung und der automatisierten Anpassung lässt sich ein signifikanter Unterschied des paarweisen Vergleiches feststellen. Die Ergebnisse des Post-hoc-Testes sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Ergebnis des Post-hoc-Tests für die Technikakzeptanz, Vergleich der Likert-Skala (n=55)

	MW	SD	ohne Adaption	automatisierte Adaption	automatisierte Adaption mit Nachjustierung	adaptierbare Anpassung
ohne Adaption	3,96	1,48		+1,57*	+1,96*	+1,88*
automatisierte Adaption	5,53	0,64	-1,57*		+0,40*	+0,32*
automatisierte Adaption mit Nachjustierung	5,92	0,60	-1,96*	-0,40*		-0,08
adaptierbare Anpassung	5,85	0,66	-1,88*	-0,32*	+0,08	

* Die mittlere Differenz ist auf dem 0,05-Niveau signifikant.

Zusammenhang von subjektivem Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz

Leithypothese 2.1 beschäftigt sich mit der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden und der Technikakzeptanz. Hierzu wird eine Produkt-Moment-Korrelation (Korrelation nach Pearson) durchgeführt. Die Untersuchung dieser Korrelation über alle Individualisierungsgrade ($n = 220$) ergibt einen Korrelationskoeffizienten von $r = -0,24$ ($p < 0,001$). Nach Cohen (1988) stellt dies eine schwache negative Korrelation dar, d.h. das subjektive Anstrengungsempfinden sinkt, während die Technikakzeptanz steigt und umgekehrt.

Für Leithypothese 1.2 können somit drei der insgesamt sechs Hypothesen angenommen werden, die paarweisen Vergleiche der Normwertreferenz mit der automatisierten Adaption, der automatisierten Adaption mit Nachjustierung und der adaptierbaren Anpassung unterscheiden sich signifikant. In Bezug auf Leithypothese 1.3 können fünf der sechs aufgestellten Hypothesen angenommen werden. Lediglich für den Vergleich der automatisierten Adaption mit Nachjustierung und der adaptierbaren Anpassung konnte die Hypothese nicht bestätigt werden.

6.2.3 Zusammenhang des subjektiven Anstrengungsempfindens und den Eingangsgrößen der Technikakzeptanz

Für die Untersuchung der Leithypothese 3.1 wird die Produkt-Moment-Korrelation für das subjektive Anstrengungsempfinden und den Konstrukten *Nützlichkeit*, *Einfachheit der Nutzung* und *Kompatibilität* untersucht. Es wird davon ausgegangen, dass ein Zusammenhang zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden und der Nützlichkeit, dem subjektiven Anstrengungsempfinden und der Einfachheit der Nutzung sowie dem subjektiven Anstrengungsempfinden und der Kompatibilität besteht. Um eine Aussage über die Zusammenhänge der Faktoren zu treffen, wurde über alle Individualisierungsgrade die Korrelation überprüft. Hierbei wurden, wie in Kapitel 5.4 beschrieben, die Items für die Nützlichkeit hinsichtlich Cronbachs Alpha angepasst. Die Ergebnisse sind in Tabelle 27 dargestellt. Die Korrelationen zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und Nützlichkeit, Einfachheit der Nutzung und Kompatibilität weisen nach Cohen (1988) jeweils eine schwache Korrelation auf, die für die Nützlichkeit und Kompatibilität signifikant getestet wurde. Alle Korrelationskoeffizienten sind negativ, d.h. eine Steigung des subjektiven Anstrengungsempfindens führt zu einer Senkung der Nützlichkeit und umgekehrt. Gleiches gilt für den Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und Einfachheit der Nutzung und subjektivem Anstrengungsempfinden und Kompatibilität.

Für Leithypothese 3.1 können somit alle drei Hypothesen angenommen werden, die Zusammenhänge zwischen den Faktoren wurde bestätigt.

Tabelle 27: Ergebnisse der Produkt-Moment-Korrelation des Anstrengungsempfindens und der Eingangsgrößen der Technikakzeptanz über alle Individualisierungsgrade (n=220)

	Nützlichkeit	Einfachheit der Nutzung	Kompatibilität
subjektives Anstrengungsempfinden	$r = -0,24^{**}$	$r = -0,15^*$	$r = -0,24^{**}$

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant

6.2.4 Einfluss der Technikaffinität und Anthropometrie

Für die Beantwortung der Leithypothesen 4.1 und 4.2 wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben zum Vergleich des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass sich technikaffine und nicht technikaffine Personen hinsichtlich ihrer Bewertung in Bezug auf das subjektive Anstrengungsempfinden und die Technikakzeptanz signifikant unterscheiden. Gleiches gilt für die Personengruppe, die sich bezüglich ihrer anthropometrischen Maße unterscheiden. Wie schon in Kapitel 5.4.4 erläutert, wurde zur Aufteilung aller Versuchspersonen für die Technikaffinität der Median verwendet. Für die anthropometrischen Daten wurden die Testpersonen anhand der DIN EN ISO 33402-2 in Personengruppen eingeteilt, die nach Schmauder und Spanner-Ulmer (2014) innerhalb der anthropometrischen Grenzwerte für die Dimensionierung von Arbeitsplätzen liegen (>5. Perzentil/<95. Perzentil), mit Personen verglichen, die sich nicht innerhalb dieser Grenzwerte befinden (<5. Perzentil/>95. Perzentil). Aufgrund der sehr ungleichmäßigen Verteilung der Stichprobe für die Körpertiefe (n=3 Personen außerhalb des 5. Perzentils/95. Perzentils gegenüber n=52 Personen innerhalb der Grenzwerte) ist für dieses anthropometrische Maß keine sichere Aussage hinsichtlich eines signifikanten Unterschieds zwischen den Gruppen zu treffen. Daher wird für dieses anthropometrische Maß keine Berechnung des t-Tests durchgeführt.

Die Ergebnisse des t-Tests sind in Tabelle 28 dargestellt. Zwischen den technikaffinen und nicht technikaffinen Personen konnte kein signifikanter Unterschied der Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens sowie der Technikakzeptanz festgestellt werden. Gleiches gilt für die Vergleiche der Körpermaße Körperhöhe, Körpertiefe und Reichweite nach vorn. Es gibt keine signifikanten Unterschiede der Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz zwischen Personen, die innerhalb der anthropometrischen Grenzwerte zur Arbeitsplatzdimensionierung liegen und Personen, deren Körpermaße sich außerhalb dieser Grenzwerte befinden.

Tabelle 28: Darstellung der Mittelwerte (MW), Standardabweichung (SD), mittlerer Differenz sowie die Ergebnisse des t-Tests für die Persönlichkeitsmerkmale

	subjektives Anstrengungsempfinden				Technikakzeptanz			
	MW	SD	Differenz	t-Test	MW	SD	Differenz	t-Test
<u>Technikaffinität</u>								
nicht technikaffin (n=28)								
technikaffin (n=27)								
<u>Körperhöhe</u>								
>5.Perzentil/ <95.Perzentil (n=40)								
<5.Perzentil/ >95.Perzentil (n=15)								
<u>Körpertiefe*</u>								
>5.Perzentil/ <95.Perzentil (n=52)								
<5.Perzentil/ >95.Perzentil (n=3)								
<u>Reichweite nach vorn</u>								
>5.Perzentil/ <95.Perzentil (n=43)								
<5.Perzentil/ >95.Perzentil (n=12)								

* ungleichmäßig verteilte Stichprobe, daher keine Auswertung des t-Tests durchgeführt

Für Leithypothese 4.1 und 4.2 werden somit alle Hypothesen verworfen, es können keine Unterschiede festgestellt werden.

6.3 Zusammenfassung und Interpretation

Die Untersuchung der vorliegenden Arbeit hat gezeigt, dass sich Individualisierungsgrade hinsichtlich Belastungen, subjektivem Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz unterscheiden.

Die Leithypothesen 1.1, 1.2 und 1.3 können nur teilweise angenommen werden. Die positiven Auswirkungen der automatisierten Einstellungen gegenüber der Einstellung ohne Adaption werden für alle Gelenkwinkel in den deskriptiven Daten deutlich.

Für die Kopfneigung konnten gegenüber der Normwertreferenz signifikante Unterschiede zu der automatisierten Anpassung und der automatisierten Anpassung mit Nachjustierung festgestellt werden. Die Zeitanteile im Bereich der akzeptablen Belastungskategorie stiegen signifikant, die Zeitanteile im nicht akzeptablen Bereich hingegen konnten deutlich reduziert werden. Für die bedingt akzeptable Belastungskategorie konnte eine statistisch bestätigte Erhöhung des Zeitanteils der adaptierbaren Anpassung gegenüber den anderen Individualisierungsgraden festgestellt werden. Die Zeitanteile der Rumpfneigung zeigten in den deskriptiven Ergebnissen allgemein eine positive Belastungsverteilung auf, es konnten nur geringe Zeitwerte im nicht akzeptablen Bereich festgestellt werden. Die Testung der Varianzanalyse für diese Gelenkbewegung lieferte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Individualisierungsgraden.

Für die Schultergelenke konnten vor allem signifikante Unterschiede zwischen der adaptierbaren Anpassung und den anderen Individualisierungsgraden in allen Belastungskategorien festgestellt werden. Die automatisierte Anpassung sowie die automatisierte Anpassung mit Nachjustierung unterscheiden sich nicht signifikant gegenüber der Normwertreferenz (ohne Adaption). Für das subjektive Anstrengungsempfinden kann bezüglich der automatisierten Adaption, der automatisierten Adaption mit Nachjustierung sowie der adaptierbaren Anpassung ein statistisch nachweisbarer Unterschied gegenüber der Normwertreferenz (ohne Adaption) festgestellt werden. Das Anstrengungsempfinden sinkt gegenüber der Normwertreferenz, für die automatisierte Adaption mit Nachjustierung fällt das Anstrengungsempfinden am geringsten aus. Für die Technikakzeptanz ist auch ein signifikanter Unterschied zwischen der automatisierten Adaption, der automatisierten Adaption mit Nachjustierung sowie der adaptierbaren Anpassung gegenüber der Normwertreferenz festzustellen. Weiterhin unterscheiden sich die beiden automatisierten Adaptionsgrade statistisch nachweislich voneinander. Auch beim Vergleich der automatisierten und der adaptierbaren Anpassung kann ein signifikanter Unterschied der Technikakzeptanz festgestellt werden. Die Technikakzeptanz der automatisierten Anpassung mit Nachjustierung wurde von den Testpersonen am höchsten bewertet.

Die Leithypothese 2.1 kann angenommen werden. Zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden und der Technikakzeptanz kann ein schwacher negativer Zusammenhang festgestellt werden.

Gleiches wurde für die Testung der Korrelation zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden und der Nützlichkeit, der Einfachheit der Nutzung und der Kompatibilität festgestellt. Auch hier konnten signifikante negative Korrelationen ermittelt werden, eine Steigerung des subjektiven Anstrengungsempfindens führt zu einer Senkung der Eingangsgrößen der Technikakzeptanz und umgekehrt. Somit kann Leithypothese 3.1 verifiziert werden.

Dagegen müssen die Leithypothesen 4.1 und 4.2 verworfen werden. Die Technikaffinität sowie die anthropometrischen Körpermaße zeigen keinen Einfluss auf die Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz. Nicht technikaffine Personen und technikaffine Personen geben eine ähnliche Bewertung des individualisierbaren Steharbeitsplatzes ab. Auch Personen, deren anthropometrischen Maße über oder unter den festgelegten Grenzwerten zur Auslegung von Steharbeitsplätzen liegen, bewerten den Steharbeitsplatz in einem ähnlichen Punktebereich wie Personen, die innerhalb des 5. und 95. Perzentils liegen.

Die Individualisierungsgrade haben somit einen Einfluss auf die Belastung. Besonders für die Belastung des Nackens ist die Anpassung an die anthropometrischen Maße als positiv zu bewerten. Positive Auswirkungen auf die Belastungen des Rückens konnten deskriptiv aber nicht statistisch nachgewiesen werden. Für die Belastung der Schultergelenke sind vor allem die Mittelwerte der adaptierbaren Einstellung relevant. Sie variieren je nach Seite der Schulter und Oberarmbewegung bezüglich des höchsten oder niedrigsten Wertes in dem nicht akzeptablen oder akzeptablen Belastungsbereich. Im bedingt akzeptablen Bereich erreichten sie immer die geringsten Zeitanteile. Dies könnte daran liegen, dass Personen entweder den Greifraum des Steharbeitsplatzes optimal einstellen oder gar nicht einstellen. Der Vergleich der automatisierten Anpassung zur automatisierten Anpassung mit Nachjustierung zeigte insgesamt keine signifikanten Unterschiede. Ausschließlich für die linke Flexion/Extension ist ein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Individualisierungsgraden im nicht akzeptablen Bereich feststellbar. Die Testpersonen fühlten sich durch die automatisierte, die automatisierte Anpassung mit Nachjustierung und der adaptierbaren Anpassung geringer beansprucht als durch die Standardeinstellung, wobei der Individualisierungsgrad *automatisierte Anpassung mit Nachjustierung* als am geringsten beansprucht empfunden wurde. Die Individualisierungsgrade *automatisiert* und *automatisiert mit Nachjustierung* unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Die Versuchsteilnehmenden bevorzugten die Nutzung der Individualisierungsgrade, die sich individuell anpassen bzw. die sie selbst anpassen können. Der signifikante Unterschied zwischen automatisierte Anpassung und automatisierte Anpassung mit Nachjustierung könnte die Theorie, dass Technologien, die keine Kontrolle zulassen, weniger akzeptiert werden, bestätigen. Der deskriptive Unterschied zwischen der adaptierbaren Anpassung und der automatisierten Adaption mit Nachjustierung konnte nicht signifikant bestätigt werden. Dies spiegelt auch die Meinungen der Versuchspersonen wieder. Auf die Frage, welchen Individualisierungsgrad die Personen am besten fanden, wurde am häufigsten die Adaption mit Nachjustierung genannt gefolgt von der adaptierbaren Variante.

Das subjektive Anstrengungsempfinden beeinflusst die Technikakzeptanz, je beanspruchter sich eine Person fühlt, desto niedriger ist die Akzeptanz gegenüber der Technologie, die diese Beanspruchung hervorruft. Auch die persönlichen Überzeugungen, welche die Technikakzeptanz initiieren, wie die Einfachheit der Nutzung, die Kompatibilität und die Nützlichkeit des technischen Systems, werden durch die subjektiv empfundene Beanspruchung schwach beeinflusst. Es konnte eine negative Korrelation nachgewiesen werden, steigt das subjektive Anstrengungsempfinden sinken die Einfachheit der Nutzung, die Kompatibilität und die Nützlichkeit und umgekehrt.

Personen, die Technologien im Allgemeinen offener gegenüberstehen, haben die gleiche Nutzungsabsicht gegenüber dem individualisierbaren Steharbeitsplatz wie Personen, die eine Interaktion mit einer Technik eher ablehnen. Die empfundene Beanspruchung wird ebenfalls nicht durch die Einstellung gegenüber Technik im Allgemeinen beeinflusst. Das Persönlichkeitsmerkmal Technikaffinität hat keinen Einfluss auf die subjektiv empfundene Beanspruchung und die Technikakzeptanz. Auch Personen, deren anthropometrischen Maße nicht für die Auslegung von Standardarbeitsplätzen berücksichtigt werden, bewerten die subjektiv empfundene Beanspruchung und die Technikakzeptanz nicht besser oder schlechter als Personen, deren anthropometrischen Maße bei der Dimensionierung von Arbeitsplätzen berücksichtigt werden. Die Ablehnung oder Annahme einer Technik ist also nicht von der Technikaffinität oder der Anthropometrie beeinflusst.

Allgemein kann gesagt werden, dass Personen die automatisierte Adaption mit Nachjustierung und die adaptierbare Adaption bevorzugen bzw. mehr akzeptieren. Hinsichtlich der Belastung weist die automatisierte Anpassung mit Nachjustierung geringere Belastungen als die adaptierbare Anpassung auf, insbesondere im nicht akzeptablen Bereich sind die Zeitanteile geringer.

7 Diskussion

Ziel der Arbeit war die Untersuchung unterschiedlicher Individualisierungsgrade eines Steharbeitsplatzes bezüglich der Belastungen, der subjektiv empfundenen Beanspruchung und der Technikakzeptanz. Diese Faktoren wurden auf Unterschiede und Korrelationen getestet, um Rückschlüsse auf die Bewertung der einzelnen Individualisierungsgrade zu ziehen. Im Folgenden wird die angewandte Methodik sowie die gewonnenen Ergebnisse kritisch hinterfragt und hinsichtlich der aufgestellten Forschungsfragen diskutiert.

7.1 Methodik

Zur Ermittlung der Unterschiede und Zusammenhänge von Belastungen, subjektivem Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz wurde auf verschiedene Erhebungsmethoden zurückgegriffen. Die Messung der Belastungen erfolgte mittels des Motion-Capture-Systems „Captiv“. Die Technikakzeptanz und die Technikaffinität und subjektives Anstrengungsempfinden wurden mittels Fragebögen und anhand der RPE-Borg-Skala ermittelt.

Motion-Capture-System

Das Motion-Capture-System „Captiv“ scheint eine geeignete Methode zur Aufnahme von Gelenkwinkeln darzustellen. Bei der Nutzung des Systems im Versuch fielen allerdings einige Schwächen auf. Die Qualität der Übertragung bei der Aufzeichnung mittels der Sensoren wird durch den Ladezustand der Akkus beeinflusst. Je schwächer die Akkuladung, desto schwieriger war es, die Sensoren zu initialisieren und qualitativ messgenaue Daten zu erhalten. In der Vorstudie wurden weniger Versuchspersonen pro Tag gemessen, dadurch konnten die Sensoren rechtzeitig wieder aufgeladen werden. Somit wurde diese Problematik hier noch nicht festgestellt. Die schwache Leistung der Sensoren könnte ein möglicher Grund für die Ausreißerwerte in den Motion-Capture-Daten darstellen. Mehr als zwei Testpersonen pro Tag mit diesem Motion-Capture-System zu testen, gestaltete sich als schwierig.

Die Ausreißer in den Datensätzen für die Rumpfneigung sind möglicherweise auf das Verrutschen der Sensoren in diesem Bereich zurückzuführen. Das Motion-Capture-System hat zur Befestigung der Sensoren einfache Haltegurte für Arme, Kopf und Rumpf sowie einen Kreuzgurt für die Befestigung des Rückensensors. Auf ein festes Anlegen der Gurte wurde geachtet, allerdings dürfen diese nicht zu fest angelegt werden, um die Bewegungsfreiheit nicht einzuschränken und Druckstellen am Körper zu vermeiden. Der Kreuzgurt wurde über der Kleidung angebracht. Die Analyse der Versuchsvideos hat gezeigt, dass der Kreuzgurt durch die Bewegung der Kleidung verrutschen konnte. Darin könnte die starke Streuung der Rumpfneigung begründet sein. Gudehus (2009) stellte bei seinen Untersuchungen mit einem Motion-Capture-System eine ähnliche Problematik fest. Bei der Datenauswertung scheint die

Korrektur der Motion-Capture-Daten über die mittlere Abweichung der Gelenkwinkel ein geeignetes Vorgehen zu sein, um die Schwächen des Motion-Capture-Systems auszugleichen.

Fragebögen

Der Technikakzeptanzfragebogen zeigte interne Konsistenz auf und kann als reliabel eingestuft werden. Mittels des durchgeführten Tests konnten Übersetzungsfehler und Verständnisprobleme erkannt und verbessert werden. Die Möglichkeit der Online-Befragung brachte vor allem Vorteile bei der Auswertung der Daten, diese lagen schon digital vor und konnten direkt verarbeitet werden. Übertragungsfehler oder Missverständnisse, die beim Ablesen händisch ausgefüllter Fragebögen entstehen könnten, werden so vermieden. Allerdings fiel es einigen Versuchspersonen schwer, die standardisierte Einstellung des Steharbeitsplatzes hinsichtlich der Technikakzeptanz und ihrer Eingangsgrößen zu bewerten, da diese Standardeinstellung keine Vorteile oder Besonderheiten für die Versuchspersonen darstellte. Vor allem Personen, die am ersten Termin mit diesem Individualisierungsgrad beginnen sollten, hatten diese Probleme beim Ausfüllen des Fragebogens. Hier zeigten sich die Vorteile der Randomisierung der Individualisierungsgrade, um solche Schwierigkeiten ausgleichen zu können. Personen, die zuvor einen automatisierten Individualisierungsgrad oder die adaptierbare Einstellung testeten, hatten weniger Schwierigkeiten, den Fragebogen für die Standardeinstellung auszufüllen.

RPE-Skala nach Borg

Die RPE-Skala erwies sich als geeignetes Hilfsmittel zur Aufnahme des subjektiven Anstrengungsempfindens. Die Aufnahme der RPE-Skala in Zeitintervallen von 7,5 Minuten bot den Vorteil, das subjektive Anstrengungsempfinden besser darzustellen und auszuwerten. Zum besseren Vergleich der Belastungen und subjektiv empfundenen Beanspruchung hätte auch eine Bewertung der Beanspruchung einzelner Körperteile durchgeführt werden können. Da der Fokus der Untersuchung aber auf dem Vergleich zwischen Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz lag, wurde davon Abstand genommen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtbewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens für die vorliegenden Fragestellungen ausreichend ist.

Versuchsablauf und Stichprobe

Hinsichtlich des Versuchsablaufs konnte festgestellt werden, dass die vorgegebenen 45 Minuten eine ausreichend lange Zeitdauer zur Untersuchung darstellten. Trotzdem muss bei derart langen Messungen hintereinander mit Ermüdungseffekten und Einflüssen auf die Motivation gerechnet werden, was die Daten verzerren kann (Döring & Bortz, 2016).

Das durchschnittliche Alter Erwerbstätiger im Maschinenbau wird mit 43 Jahren angegeben (Statistisches Bundesamt, 2017). Der Vergleich mit den untersuchten Testpersonen zeigt, dass das Kollektiv den Altersdurchschnitt nicht widerspiegelte ($MW = 37,64$ Jahren). Die Versuchspersonen

gaben im Durchschnitt an, manchmal oder selten im Stehen zu Arbeiten. Dies zeigt, dass das vorliegende Kollektiv der Versuchspersonen nicht mit Beschäftigten im Maschinenbau vergleichbar ist. Eine weitere Erhebung im Feld mit Personen, die feinmotorische Tätigkeiten durchführen, wäre daher wünschenswert, um zu vergleichen, inwieweit gerade die Technikakzeptanz sich unterscheidet. Eine Bewertung der Belastungen dürfte sich im Feldversuch nicht von den hier erhobenen Werten unterscheiden.

Die Einteilung der Personen in nicht technikaffin und technikaffin über den Median der Technikaffinität scheint für diese Arbeit ein geeignetes Vorgehen gewesen zu sein. Um die Einflüsse der Technikaffinität genauer untersuchen zu wollen, ist es allerdings ratsam, die Versuchspersonen im Vorfeld nach Technikaffinität auszuwählen und so zwei unabhängige, gleich große Gruppen zur weiteren Untersuchung zu erhalten.

Datenauswertung

Die Winsorisierung der Daten scheint in diesem Kontext ein geeignetes Verfahren zur Stabilisierung der Mittelwerte. Durch die Winsorisierung werden weiterhin Extremwerte der Population berücksichtigt. Trotzdem konnten im Datensatz weiterhin Ausreißerwerte festgestellt werden, diese wurden nach Eckstein (2016) als weiche Ausreißer identifiziert und daher im Datensatz belassen. Die Überprüfung der Werte ergab, dass diese teilweise von Personen stammen, die außerhalb des 5. Perzentils bzw. des 95. Perzentils lagen, somit sind diese Ausreißer begründet im Datensatz vorhanden.

7.2 Ergebnisse

Die vorliegende Untersuchung wurde zur Beantwortung folgender Forschungsfragen durchgeführt:

1. Gibt es einen Unterschied der Belastung, dem subjektiven Anstrengungsempfinden sowie der Technikakzeptanz unterschiedlicher Individualisierungsgrade eines individualisierbaren Assistenzsystems in der Montage?
2. Besteht ein Zusammenhang zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden sowie der Technikakzeptanz bei der Nutzung individualisierbarer Assistenzsysteme?
3. Kann ein Zusammenhang zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden sowie relevanten persönlichen Überzeugungen, die die Technikakzeptanz initiieren, festgestellt werden?

-
4. Haben ausgewählte Persönlichkeitsmerkmale, z.B. die Technikaffinität, einen Einfluss auf das subjektive Anstrengungsempfinden und die Technikakzeptanz?

Für Forschungsfrage 1 wurden die Belastungen über die Gelenkwinkel zwischen den Individualisierungsgraden verglichen. Die Ergebnisse lassen sich grundsätzlich mit den Erkenntnissen von Beuß et al. (2017) und Nguyen et al. (2016) vergleichen. In Bezug auf die automatisierte Einstellung des Steharbeitsplatzes kann eine Belastungsreduzierung nachgewiesen werden. Gerade für die Nackenbelastung zeigten die untersuchten Individualisierungsgrade positive Auswirkungen der Belastungssituation für dieses Körpersegment.

Allerdings zeigen sich Unterschiede zwischen der automatisierten Anpassung und der automatisierten Anpassung mit Nachjustierung auf, wobei diese nur für die Flexion/Extension des linken Schultergelenks als signifikant getestet werden konnten. Die Analyse der Nachjustierungen ergab, dass von 42 Personen, deren Motion-Capture-Daten ausgewertet werden konnten, 18 nachjustierten. Die durchschnittliche Verstellung war 2,64 - 4,72 cm für die Höhe und 4,59 cm für die Reichweite, was zu keinen großen Belastungsunterschieden zwischen Nachjustierung und automatisierter Anpassung führen sollte. Zwar wurden die Berechnungsformeln zur Einstellung auf die Körpermaße in einer Vorstudie überprüft, es wäre trotzdem zu empfehlen, die Berechnungsformeln zur Einstellung vor allem hinsichtlich des Greifraums noch einmal zu überprüfen.

Hinsichtlich der adaptierbaren Einstellung kann festgestellt werden, dass die Versuchspersonen die Höheneinstellung im Durchschnitt gut an sich angepasst haben. Für die adaptierbare Anpassung lassen sich Reduzierungen der roten und Verbesserungen der grünen Belastungskategorie im Vergleich zur Normwertreferenzeinstellung feststellen. Allerdings lässt sich für die Werte der Flexion/Extension sowie der Abduktion/Adduktion des Schultergelenks kein Unterschied zwischen der Standardeinstellung und der automatisierten Adaption sowie der automatisierten Adaption mit Nachjustierung feststellen. Hingegen sind für die adaptierbare Einstellung die paarweisen Vergleiche signifikant. Zur Untersuchung dieser Ergebnisse wurden die Versuchsvideos zu Rate gezogen. Es stellte sich heraus, dass diese Personen die Reichweite nicht einstellten, sondern in der Minimalposition beließen. Durch das Verfahren der Materialbereitstellungsebene steht für die Montage nicht mehr die volle Montagetischbreite von 400 mm zur Verfügung. Der Platz reicht aber vollkommen aus, um die Montageplatten abzulegen und die feinmotorische Tätigkeit durchzuführen. Diese Einschränkung durch die Reichweitenverstellung führt dazu, dass die Legoplatte, worauf die Legosteine gesteckt werden, für die automatisierte Anpassung ungefähr in der gleichen Position liegt. In der adaptierbaren Anpassung haben die Testpersonen die vollen 400 mm Tischbreite zur Verfügung. Die fehlende Verstellung der Reichweite führte dazu, dass die

Versuchspersonen die Lage der Montageplatte variierten. Dies könnte das unerwartet gute Abschneiden der adaptierbaren Anpassung bezüglich der Belastungsanalyse erklären. Auch bei der automatisierten Adaption und der automatisierten Adaption mit Nachjustierung konnte ein Verschieben der Legoplatte festgestellt werden, wenn die Personen ausreichend Platz auf der Arbeitsfläche zur Verfügung hatten. Für nachfolgende Studien sollte darauf geachtet werden, einen festen Platz zu markieren, auf dem die Legoplatte immer abgelegt werden muss, um Belastungsunterschiede noch besser untersuchen zu können. Die Platzierung der Greifbehälter mit den Legosteinen auf der Materialbereitstellung war festgelegt und konnte nicht verändert werden.

Bei der Untersuchung der Rumpfneigung zeigten sich leider keine signifikanten Unterschiede zwischen den Individualisierungsgraden. Die deskriptive Auswertung zeigte, dass die Mittelwerte der Zeitanteile für die einzelnen Belastungskategorien sehr nahe beieinanderliegen. Unter Berücksichtigung der Messproblematik kann leider kein aussagekräftiges Ergebnis für die Belastungsreduzierung festgestellt werden.

Hinsichtlich der Untersuchung der Technikakzeptanz konnte allgemein ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden. Die Untersuchung zeigt, dass die automatisierte Anpassung mit Nachjustierung als Alternative zu einer adaptiven Einstellung oder einer adaptierbaren Anpassung dienen könnte und bestätigt damit Bunt et al. (2004), die diese Vermutung für den Kontext anpassbarer Softwarebenutzungsoberflächen schon festgestellt haben. In Bezug auf die Bewertung hat die automatisierte Anpassung mit Nachjustierung die höchste Technikakzeptanz. Dies hätte zum einen den Vorteil, dass die nutzende Person einen ergonomischen Vorschlag erhält, der sicherstellt, dass eine ergonomische Körperhaltung prinzipiell eingenommen werden kann. Zum anderen dient die Nachjustierungsmöglichkeit dazu, den Nutzenden die Kontrolle über das System zu überlassen und die Systemtransparenz zu erhöhen. Allerdings zeigte sich in der Auswertung der deskriptiven Ergebnisse beim Vergleich der Intention der Nutzung und der Nutzungsabsicht eine geringe Einstufung der Nutzungsabsicht. Dies könnte mit dem Kollektiv der Versuchspersonen erläutert werden. Die untersuchten Personen haben mit einem Montagesteharbeitsplatz geringe Berührungspunkte, weshalb sie die Nutzungsabsicht geringer betrachten, es ist für ihre alltägliche Arbeit wenig relevant. Die Werte könnten sich durchaus noch einmal verändern, wenn eine Feldstudie im Montagebereich durchgeführt werden würde.

Die Untersuchung der Zusammenhangshypothesen liefert nach Cohen (1988) einen schwachen bis moderaten Zusammenhang der untersuchten Faktoren ($r = -0,24$). Hier muss berücksichtigt werden, dass der Zusammenhang über alle Individualisierungsgrade mit einem Datensatz von 220 Werten

bestimmt wurde. Ein Vergleich innerhalb der Individualisierungsgrade mit einer Anzahl von 55 Datensätzen hätte diesen Zusammenhang nicht feststellen können. Nach Döring und Bortz (2016) sind für die Untersuchung schwacher Zusammenhänge eine große Anzahl an Testpersonen notwendig. Je nach Versuchsdesign sind solche Korrelationsanalysen für bestimmte Fragestellungen nicht möglich.

Interessant ist die festgestellte negative Korrelation zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden und den Eingangsgrößen der Technikakzeptanz. Eine Korrelation zwischen dem subjektiven Anstrengungsempfinden und der Einfachheit der Nutzung wäre nach Davis (1989) zu erwarten gewesen. Die Einfachheit der Nutzung ist als Kennwert definiert, inwieweit die Verwendung eines technischen Systems ohne Anstrengungen durchzuführen ist, wobei es sich hierbei um mentale Anstrengungen aufgrund der Bedienung eines technischen Systems handelt. Die festgestellten Korrelationen unterstützen die Vermutung des Untersuchungsmodells, dass das subjektive Anstrengungsempfinden auf die Technikakzeptanz wirkt und nicht umgekehrt. Sie zeigen aber weiterhin auf, dass die Technikakzeptanz nicht nur von den mentalen Anstrengungen durch die Bedienung des Systems abhängig ist, sondern auch von den empfundenen Beanspruchungen, die durch die physischen Belastungen, die bei der Nutzung des individualisierbaren Arbeitsplatzes auftreten, hervorgerufen werden.

Für den Vergleich der Technikaffinität und der Anthropometrie wurden die Versuchspersonen jeweils in zwei Vergleichsgruppen zugeteilt, diese Persönlichkeitsmerkmale wurden aber nicht bei der Auswahl der Versuchspersonen berücksichtigt, was dazu führte, dass relativ kleine Gruppen mit großen Gruppen verglichen wurden (z.B. $n=3$ mit $n=52$ für die Reichweite nach vorn). Wollte man den Einfluss der Technikaffinität und der Anthropometrie noch näher untersuchen, sollte man mit einem Studiendesign arbeiten, das diese Werte bei der Auswahl der Versuchspersonen berücksichtigt.

7.3 Ableitung von Gestaltungsempfehlungen

Die Untersuchung der Individualisierungsgrade hatte zum Ziel, eine Lösungsmöglichkeit zu finden, welche Maßnahmen notwendig sind, um die Technikakzeptanz individualisierbarer Arbeitsplätze zur Reduzierung von Muskel-Skelett-Erkrankungen zu erhöhen. Die automatisierte Anpassung mit Nachjustierung stellt einen solchen Lösungsansatz dar. Es wird eine ergonomisch günstige Einstellung des Arbeitsplatzes anhand der Körpermaße vorgeschlagen. Im Gegensatz zur adaptierbaren Anpassung erhält der Beschäftigte somit eine Orientierung, welche Höhen- und Greifraumeinstellungen des Steharbeitsplatzes für seine Körpermaße ergonomisch günstig wären. Die Möglichkeit der Nachjustierung erhöht die Nachvollziehbarkeit und die Kontrolle über das Assistenzsystem und beeinflusst somit die Technikakzeptanz, da die nutzende Person jederzeit die Einstellung des Systems

übernehmen kann und sich so nicht von einem automatisierten System bevormundet fühlt. Für die Praxis wäre es allerdings empfehlenswert, eine Warnmeldung einzubauen, sollte die Nachjustierung so gewählt werden, dass die Einstellung nicht mehr als ergonomisch einzustufen ist. So ist der Vorteil der ergonomischen Einstellung weiterhin gegeben.

Allgemein zeigt diese Arbeit, dass die subjektiv empfundene Beanspruchung die Ablehnung eines technischen Systems beeinflusst und bei der Einführung solcher Systeme mitberücksichtigt werden sollte. Der Zusammenhang zwischen subjektiven Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz konnte bestätigt werden. Als mögliches Vorgehen zur Einführung individualisierbarer Arbeitsplätze wäre zum einen eine Ist-Analyse vorstellbar, um festzustellen, welche aktuellen Belastungen am Arbeitsplatz vorliegen und welche Verbesserung die Optimierung eines individualisierbaren Arbeitsplatzes bieten würde. Zum anderen muss bei der Entwicklung von technischen Systemen auf eine menschenzentrierte Gestaltung geachtet werden. Die Mensch-Technik-Interaktion sollte nicht zu zusätzlichen Belastungen führen, was die empfundene Beanspruchung und somit die Technikakzeptanz beeinflussen könnte.

Eine Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens und der Technikakzeptanz kann nur durch Ausprobieren neuer Technik erfahren werden. Bei der Einführung von neuen Technologien zur Optimierung der Arbeitsplätze sollte daher eine Testphase eingeplant werden, in der die Beschäftigten die neuen Arbeitssysteme ausprobieren können. Gleichzeitig kann ein Vergleich mit dem nicht optimierten Zustand erfolgen. Dies lässt die Vorteile der neuen Technik deutlicher werden, schafft aber auch die Möglichkeit, letzte Schwächen des neuen technischen Systems festzustellen und zu beheben.

Hinsichtlich der Anschaffung solcher individualisierbaren Systeme ist die Kosten-Nutzen-Frage für Unternehmen interessant. In Arbeitsbereichen, in denen eine hohe Ausfallrate der Beschäftigten durch Krankheit festzustellen ist, könnte sich die Anschaffung eines individualisierbaren Systems mit der automatisierten Anpassung mit Nachjustierung durchaus lohnen. Nach der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin konnte 2018 für das produzierende Gewerbe Produktionsausfallkosten von 6,97 Mrd. Euro durch Muskel-Skelett-Erkrankungen festgestellt werden. Es lohnt sich, in ergonomische Arbeitsplätze zu investieren. Dem gegenüber steht der Aufwand, der betrieben werden muss, um die Arbeitsplätze umzurüsten. Für die Umstellung auf individualisierbare Arbeitsplätze ist dies mit geringem Kostenaufwand möglich. Alle notwendigen Aktoren sind am Markt erhältlich und können gut in bestehende Arbeitsplätze integriert werden. Die Berechnungsformeln dieser Arbeit bieten einen ersten Hinweis, wie die ergonomische Einstellung aussehen könnte. Für die Umsetzung ist ein RFID-System notwendig, das Programm zum Einlesen und Einstellen der Aktoren muss aber nicht selbst entwickelt werden.

8 Zusammenfassung und Fazit

Die vorliegende Arbeit zeigt, welche Auswirkungen unterschiedliche Individualisierungsgrade auf Belastung, subjektives Anstrengungsempfinden und Technikakzeptanz haben können. Es liefert Erkenntnisse für die Betrachtung physischer Assistenzsysteme, ein Anwendungsfeld, in dem diese Individualisierungsgrade noch nicht umfassend untersucht werden. Die Arbeit macht zudem deutlich, dass die Theorien hinsichtlich Beanspruchung und Technikakzeptanz, die für Informationssysteme aufgestellt wurden, auch auf physische Assistenzsysteme übertragbar sind. Zusätzlich kann festgestellt werden, dass nicht nur die Bedienung automatisierter Systeme eine Rolle bei der Bewertung der Technikakzeptanz spielt, sondern auch die Beanspruchung, die bei der Nutzung des Systems empfunden wird.

Die Ergebnisse der durchgeführten Studie lassen darauf schließen, dass eine automatisierte Adaption an die Körpermaße zu einer Reduzierung der Belastungen führen kann. Hinsichtlich der Technikakzeptanz wird eine automatisierte Adaption, die eine nachträgliche eigenständige Nachjustierung durch die Nutzenden ermöglicht, am höchsten bewertet. Diese Individualisierung sorgt für eine ergonomische Grundeinstellung, bietet der nutzenden Person zusätzlich die Möglichkeit, weiterhin auf das technische System Einfluss zu nehmen. Somit kann dieser Individualisierungsgrad als zukünftige Gestaltungsmöglichkeit individualisierbarer Assistenzsysteme in Betracht gezogen werden.

Das subjektive Anstrengungsempfinden beeinflusst die Technikakzeptanz sowie die Nützlichkeit, die Einfachheit der Nutzung und die Kompatibilität. Je nachdem wie beansprucht sich eine Person bei der Nutzung eines individualisierbaren Assistenzsystems fühlt, bewertet sie die Unterstützung (Nützlichkeit) sowie die Interaktion des Systems (Einfachheit und Kompatibilität) besser oder schlechter. Bei der Entscheidung, ein System zu nutzen, fließt das Anstrengungsempfinden außerdem mit ein. Die Technikaffinität und die Anthropometrie der Personen sind für die Bewertung der Technikakzeptanz und des subjektiven Anstrengungsempfindens nicht relevant.

Die vorliegenden Berechnungsformeln stellen einen ersten Ansatz zur automatisierten Einstellung der Höhe und Greifweite dar. Zur weiteren Nutzung könnten diese noch präziser gestaltet und weiterentwickelt werden.

Die automatisierte Adaption mit Nachjustierung ist ein wichtiger Gestaltungsansatz individualisierbarer Assistenzsysteme und könnte auch für andere Arbeitskontexte interessant sein. Dies könnte in weiteren Studien näher untersucht werden.

In Bezug auf den Einfluss von individuellen Merkmalen auf die Technikakzeptanz wurde ausschließlich die Technikaffinität sowie die Anthropometrie näher untersucht. Eventuell stellen noch weitere

individuelle Merkmale wie z.B. die Berufsbezeichnung eine Rolle. In einem Feldversuch könnten weitere Einflussfaktoren untersucht werden. In einem realen Umfeld besitzen alle Versuchspersonen die gleichen Erfahrungen, was das Arbeiten im Stehen an einem Montagearbeitsplatz anbelangt. Somit könnte zum Beispiel, die Dauer, wie lange schon an einer solchen Art von Arbeitsplatz gearbeitet wird, eine Rolle bei der Bewertung der Technikakzeptanz oder des subjektiven Anstrengungsempfindens spielen. Außerdem ist nicht auszuschließen, dass eine Untersuchung der Technikaffinität ein anderes Ergebnis liefern könnte.

9 Literaturverzeichnis

- Adam, M. T. P., Gimpel, H., Maedche, A. & Riedl, R. (2016). Design Blueprint for Stress-Sensitive Adaptive Enterprise Systems. *Business & Information Systems Engineering*, 59 (4), 277-291.
- Ajzen, I. (1985). From Intentions to actions: A theory of Planned Behavior. In J. Kuhl & J. Beckmann (Eds.), *Action control. From cognition to behavior*. SSSP Springer Series in Social Psychology. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50 (2), 179-211.
- Ajzen, I. & Fishbein, M. (1980). *Understanding attitudes and predicting social behavior* (Transferred to digital print on demand). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Alexandre, B., Reynaud, E., Osiurak, F. & Navarro, J. (2018). Acceptance and acceptability criteria: a literature review. *Cognition, Technology & Work*, 20 (2), 165-177.
- Apt, W., Bovenschulte, M., Priesack, K., Weiß, C. & Hartmann, E. (2018). Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb. *Forschungsbericht des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales* (502). Berlin: iit – Institut für Innovation und Technik.
- Attig, C., Mach, S., Wessel, D., Franke, T., Schmalfuß, F. & Krems, J. F. (2018). Technikaffinität als Ressource für die Arbeit in Industrie 4.0. In: Bullinger, A. C. (Hrsg.), *Innovation der Innovation – neu gedacht, neu gemacht, ininteract conference*. Chemnitz: Verlag aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2018). *Multivariate Analysemethoden* (15. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bangor, A., Kortum, P. & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4 (3), 114-123.
- Belletier, C., Charkhabi, M., Pires de Andrade Silva, G., Ametepe, K., Lutz, M. & Izaute, M. (2019). Wearable cognitive assistants in a factory setting: a critical review of a promising way of enhancing cognitive performance and well-being. *Cognition, Technology & Work*, 46 (1), 11.
- Berger, H., Caffier, G., Schultz, K. & Trippler, D. (2009). *LV 50 Bewegungsergonomische Gestaltung von andauernder Steharbeit: Eine Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen* (LASI-Veröffentlichungen, 1. Aufl.). Wiesbaden: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik.
- Beuß, F., Zopff, C., Sender, J., Schröder, A.-K. & Jagusch, K. (2017). Flexibel adaptierbare, intelligente Arbeitsplatzsysteme für große Bauteile. In H. Winkler, U. Berger, C. Mieke & M. Schenk (Hrsg.),

Flexibilisierung der Fabrik im Kontext von Industrie 4. 0 (Anwendungsorientierte Beiträge zum Industriellen Management, Band 6). Berlin: Logos Verlag Berlin.

- Blanz, M. (2015). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit. Grundlagen und Anwendungen*. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- Borg, E. & Kaijser, L. (2006). A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16 (1), 57-69.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 2 (2), 92-98.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14 (5), 377-381.
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 16 Suppl 1, 55-58.
- Borg, G. (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Deutsches Ärzteblatt*, 101 (15), 1016-1021.
- Borg, I. & Staufenbiel, T. (2007). *Lehrbuch Theorien und Methoden der Skalierung* (4., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Bern: Huber.
- Bortz, J. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Mit 242 Tabellen* (6., vollst. überarb. und aktualisierte Auflage). Berlin: Springer-Verlag.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch, 7., vollst. überarb. und erweiterte Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Brauer, R. R., Fischer, N. M. & Grande, G. (2015). Akzeptanzorientierte Technikentwicklung. In R. Weidner, T. Redlich & J. P. Wulfsberg (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme* (1. Aufl.). Berlin: Springer Vieweg.
- Brombach, J. & Leisgang, M. (2017). Ergonomie in der Klein- und Serienfertigung. In R. Koether & K.-J. Meier (Hrsg.), *Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung* (Bd. 201). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Brooke, J. (1996). SUS: A „Quick and Dirty“ Usability Scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, I. L. McClelland & B. Weerdmeester (Hrsg.), *Usability Evaluation In Industry*. London: CRC Press LLC.
- Bullinger-Hoffmann, A. C. & Mühlstedt. (2016). *Homo Sapiens Digitalis - Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle*: Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

-
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2018). *Volkswirtschaftliche Kosten durch Arbeitsunfähigkeit 2018*. Verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitswelt-und-Arbeitsschutz-im-Wandel/Arbeitsweltberichterstattung/Kosten-der-AU/pdf/Kosten-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. (2019). *MEGAPHYS - Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Bunt, A., Conati, C. & McGrenere, J. (2004). What role can adaptive support play in an adaptable system? IUI '04: Proceedings of the 9th international conference on Intelligent user interfaces, Madeira, Funchal, Portugal.
- Burkhardt, T., Kühhirt, M., Golze, G. & Buscher, U. (2015). Technologieakzeptanz und Rahmenbedingungen der Elektromobilität. In H. Proff (Hrsg.), *Entscheidungen beim Übergang in die Elektromobilität. Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Charness, G., Gneezy, U. & Kuhn, M. A. (2012). Experimental methods: Between-subject and within-subject design. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 81 (1), 1-8.
- Cleff, T. (2015). *Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse* (3., überarb. und erweiterte Aufl.). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16 (3), 297-334.
- Da Costa, B. R. & Vieira, E. R. (2010). Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *American journal of industrial medicine*, 53 (3), 285-323.
- Davis, F. D. (1985). *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: theory and results*. Dissertation. Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13 (3), 319-340.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P. & Warshaw, P. R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35 (8), 982-1003.

-
- Davis, F. D. (1993). User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts. *International Journal of Man-Machine Studies*, 38 (3), 475-487.
- Dethloff, C. (2004). *Akzeptanz und Nicht-Akzeptanz von technischen Produktinnovationen*. Dissertation. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Dixon, W. J. & Yuen, K. K. (1974). Trimming and winsorization: A review. *Statistische Hefte*, 15 (2-3), 157-170.
- Dockweiler, C. (2016). Akzeptanz der Telemedizin. In F. Fischer & A. Krämer (Hrsg.), *eHealth in Deutschland. Anforderungen und Potenziale innovativer Versorgungsstrukturen* (Bd. 19). Berlin: Springer Vieweg.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Du Prel, J.-B., Röhrig, B., Hommel, G. & Blettner, M. (2010). Auswahl statistischer Testverfahren. Teil 12 der Serie zur Bewertung wissenschaftlicher Publikationen. *Deutsches Ärzteblatt International*, 107 (19), 343-348.
- Duller, C. (2019). *Einführung in die Statistik mit EXCEL und SPSS. Ein anwendungsorientiertes Lehr- und Arbeitsbuch* (4., überarb. u. erw. Aufl.). Berlin: Springer Berlin; Springer Gabler.
- Eckstein, P. P. (2016). *Angewandte Statistik mit SPSS. Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler* (8. Aufl.). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Egbers, J. F. (2014). *Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses* (Forschungsberichte IWB, Bd. 280). München: Herbert Utz Verlag.
- Eickemeyer, S. C., Halaszovich, T. & Lattemann, C. (2018). Blockchain Technologien für die Sicherung von Material-, Informations- und Geldflüssen in der Logistik – Erfolgsfaktoren für die chinesische „Belt-Road“ Initiative. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 55 (6), 1260-1273.
- Fahrmeir, L., Heumann, C., Künstler, R., Pigeot, I. & Tutz, G. (2016). *Statistik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Fishbein, M. & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention, and behavior. An introduction to theory and research* (4. print). Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Formazin, M. & Schütte, M. (2019). Übereinstimmung von objektiver Messung und subjektiver Erfassung der Arbeitsumgebungsfaktoren Klima, Beleuchtung und Lärm. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 73 (2), 153-164.

-
- Franke, T., Attig, C. & Wessel, D. (2018). A Personal Resource for Technology Interaction: Development and Validation of the Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35 (6), 456-467.
- Günthner, W., Klenk, E. & Tenerowicz-Wirth, P. (2017). Adaptive Logistiksysteme als Wegbereiter der Industrie 4.0. In B. Vogel-Heuser, T. Bauernhansl & M. ten Hompel (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen* (2., Aufl.). Berlin: Springer Vieweg.
- Ghislieri, C., Molino, M. & Cortese, C. G. (2018). Work and Organizational Psychology Looks at the Fourth Industrial Revolution: How to Support Workers and Organizations? *Frontiers in psychology*, 9:2365.
- Girden, E. R. (1992). *ANOVA. Repeated measures* (Bd. 84) Newbury Park, Calif.: Sage Publ.
- Gudehus, T. C. (2009). *Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von Montagetätigkeiten durch Motion-Capturing*. Dissertation. Kassel: Kassel University Press.
- Hähnel, K., Freyer H., Ulrich, S., Bruns R., Breitfeld A. & Wulfsberg J. (2014). Akzeptanzerhöhung durch den Einsatz von Rapid-Prototyping Technologien für angepasste Unterstützungssysteme. In R. Weidner & T. Redlich (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema*. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität, Laboratorium Fertigungstechnik.
- Hameed, S. & Sarter, N. (2009). Context-Sensitive Information Presentation: Integrating Adaptive and Adaptable Approaches to Display Design. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 53 (22), 1694-1698.
- Hancock, P. A. & Warm, J. S. (1989). A dynamic model of stress and sustained attention. *Human factors*, 31 (5), 519-537.
- Hannola, L., Lacuera-Pérez, F. J., Steinhueser, M., Kokkonen, K., Ojanen, V. & Schafler, M. (2017). An evaluation framework for worker-centric solutions in production environments. In 24th *International Conference on Production research (ICPR 2017)*. Posnan, Poland, July 30-August 3, 2017 (DEStech transactions on engineering and technology research). Lancaster: DEStech Publications.
- Harrison, A. W. & Rainer, R. K. (1996). A general measure of user computing satisfaction. *Computers in Human Behavior*, 12 (1), 79-92.
- Hart, S. G. (2006). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50 (9), 904-908.
- Hedderich, J. & Sachs, L. (2018). *Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R* (16. überarb. und erweiterte Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

-
- Herczeg, M. (2006). *Interaktionsdesign. Gestaltung interaktiver und multimedialer Systeme*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Human Solutions GmbH. (2009). *Vitus Smart XXL. 3D-Bodyscanner*. Kaiserslautern: Human Solutions GmbH (Datenblatt).
- Jentsch, M., Rossner, P., Missbach, A. & Bullinger, A. C. (2015). Adaptivität oder Adaptierbarkeit im Fahrzeug – Leitfaden und Konzepte zur optimalen Fahrerunterstützung. In: *Verantwortung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress, 25. - 27.02.2015, Karlsruhe*. Dortmund: GfA-Press.
- Kapandji, I. A. (2006). *Funktionelle Anatomie der Gelenke. Schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik* (4., unveränd. Aufl.). Stuttgart: G. Thieme.
- Karrer, K., Glaser, C., Clemens, C. & Bruder, C. (2009). Technikaffinität erfassen – der Fragebogen TA-EG. In A. Lichtenstein (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, 7. bis 9. Oktober 2009* (Berichte aus dem Zentrum Mensch-Maschine-Systeme der Technischen Universität Berlin, Bd. 29). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Kauer, M., Theuerling, H. & Bruder, R. (2013). The importance of identification for the acceptance of consumer electronics on the example of the Wii. *Behaviour & Information Technology*, 32 (4), 344-358.
- Kerber, F., Lessel P. (2015): adaptive und gamifizierte Werkerassistenz in der (semi-)manuellen Industrie 4.0-Montage. In: S. Rathmayer, H. Pongratz (Hrsg.). *Proceedings of DeLFI Workshops 2015. DeLFI Workshops (DeLFI-WS-15), 13th e-Learning Conference of the German Computer Society*. München: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Kern, C. (2007). *Anwendung von RFID-Systemen* (2., verbesserte Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kotzab, D. (2015). *Vergleich ergonomischer Bewertungsmethoden mit dem subjektiven Befinden der Mitarbeiter. Eine Längsschnittstudie an Fließbandarbeitsplätzen in der Automobilindustrie* (Schriftenreihe Personal- und Organisationsentwicklung, Bd. 12). Dissertation. Kassel: Univ.-Press.
- Landau, K. & Luczak, H. (2001). *Ergonomie und Organisation in der Montage*. München: Hanser.
- Landau, K., Weißert-Horn, M., Presl, A. & Brauchler, R. (2012). Active Age Management. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 66 (1), 75-91.
- Lawaczeck, M. (2001). *Zur ergonomischen Beurteilung von Montagetätigkeiten in der Automobilindustrie*. Dissertation. Stuttgart: Ergon GmbH.
- Lawaczeck, M., Landau, K., Oelker, K.-C. & Schaub, K. (2003). Ergonomische Beurteilung von Montagetätigkeiten in der Automobilindustrie. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 57 (1), 35-41.

-
- Lazarus, R. S. & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. New York, NY: Springer Publishing Company.
- Löffler-Mang, M. (2012). *Optische Sensorik. Lasertechnik, Experimente, Light Barriers*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Lotter, B. (2012). Manuelle Montage von Kleingeräten. In B. Lotter & H.-P. Wiendahl (Hrsg.), *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis* (VDI). Berlin: Springer Vieweg.
- Lück, M., Hünefeld, L., Brenscheidt, S., Bödefeld, M. & Hünefeld, A. (2019). *Grundausswertung der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 (2. Auflage). Vergleich zur Grundausswertung 2006 und 2012*. Dortmund/Berlin/Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Lutherdt, S. (2017). *Ein Konzept für die nutzerbezogene Gestaltung von Assistenzsystemen und deren Nutzerschnittstellen* (Berichte aus der Biomechatronik, Bd. 14). Dissertation. Ilmenau: Universitätsverlag Ilmenau.
- Maedche, A., Morana, S., Schacht, S., Werth, D. & Krumeich, J. (2016). Advanced User Assistance Systems. *Business & Information Systems Engineering*, 58 (5), 367-370.
- Mauchly, J. W. (1940). Significance Test for Sphericity of a Normal n-Variate Distribution. *The Annals of Mathematical Statistics*, 11 (2), 204-209.
- McWilliams, D. F., Leeb, B. F., Muthuri, S. G., Doherty, M. & Zhang, W. (2011). Occupational risk factors for osteoarthritis of the knee: a meta-analysis. *Osteoarthritis and cartilage*, 19 (7), 829-839.
- Miedema, M. C., Douwes, M. & Dul, J. (1997). Recommended maximum holding times for prevention of discomfort of static standing postures. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19 (1), 9-18.
- Montero, I. & León, O. G. (2007). A guide for naming research studies in Psychology. *International Journal of clinical and health psychology*, 7 (3), 847-862.
- Moore, G. C. & Benbasat, I. (1991). Development of an Instrument to Measure the Perceptions of Adopting an Information Technology Innovation. *Information Systems Research*, 2 (3), 192-222.
- Müller, R., Vette, M., Mailahn, O., Ginschel, A. & Ball, J. (2014). Innovative Produktionsassistentz für die Montage. Intelligente Werkerunterstützung bei der Montage von Großbauteilen in der Luftfahrt. *wt Werkstatttechnik online*, 104 (9), 552-560.
- Nguyen, T. D., McFarland, R., Kleinsorge, M., Krüger, J. & Seliger, G. (2015). Adaptive Qualification and Assistance Modules for Manual Assembly Workplaces. *Procedia CIRP*, 26, 115-120.

-
- Nguyen, T. D., Bloch, C. & Krüger, J. (2016). The Working Posture Controller: Automated adaptation of the work piece pose to enable a natural working posture. *Procedia CIRP*, 44, 14-19.
- Niklas, S. (2015). *Akzeptanz und Nutzung mobiler Applikationen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Otto, A. & Scholl, A. (2011). Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 212 (2), 277-286.
- Pangert, R. & Tannenhauer, J. (2012). *Ergonomie bei der Arbeit. Stehen - Sitzen - Heben Erläuterungen zur LasthandhabV* (1. Aufl.). Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg: Ecomed SICHERHEIT.
- Ragu-Nathan, T. S., Tarafdar, M., Ragu-Nathan, B. S. & Tu, Q. (2008). The Consequences of Technostress for End Users in Organizations: Conceptual Development and Empirical Validation. *Information Systems Research*, 19 (4), 417-433.
- Reinhart, G., Bengler, K., Dollinger, C., Intra, C., Lock, C., Popova-Dlogosch, S. et al. (2017). Der Mensch in der Produktion von Morgen. In G. Reinhart (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Hanser Verlag.
- Reinhart, G., Spillner, R., Egbers, J. & Schilp, J. (2010). Individualisierung an Montagearbeitsplätzen. Konzeption und Auslegung flexibel individualisierbarer Arbeitsplätze in der Montage. *wt Werkstatttechnik online*, 100 (9), S. 665-669.
- Rennert, D., Kliner, K. & Richter, M. (2019). Arbeitsunfähigkeit. In F. Knieps & H. Pfaff (Hrsg.), *Psychische Gesundheit und Arbeit. Zahlen, Daten, Fakten* (BKK Gesundheitsreport, Bd. 2019). Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Riedl, R. (2013). On the biology of technostress: literature review and research agenda. *ACM SIGMIS Database*, 44 (1), 18.
- Robinson, L., Marshall, G. W. & Stamps, M. B. (2005). An empirical investigation of technology acceptance in a field sales force setting. *Industrial Marketing Management*, 34 (4), 407-415.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (Social science, Fifth edition, Free Press trade paperback edition). New York: Free Press.
- Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38 (4), 193-200.
- Rönick, K., Kremer, T. & Wakula, J. (2019). Evaluation of an Adaptive Assistance System to Optimize Physical Stress in the Assembly. In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alexander & Y. Fujita (Hrsg.), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*.

Volume IX: Aging, Gender and Work, Anthropometry, Ergonomics for Children and Educational Environments (Advances in Intelligent Systems and Computing, Bd. 826). Cham: Springer International Publishing.

Rooch, A. (2014). *Statistik für Ingenieure*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Rühmann, H. & Bubb, H. (2010). Grundsätze ergonomischer Arbeitsplatz- und Betriebsmittelgestaltung. In U. Kleinbeck, K.-H. Schmidt & N.-P. Birbaumer (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Arbeitspsychologie - Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie* (Bd. 1). Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie.

Sauer, D. & Lang, C. (1999). *Paradoxien der Innovation. Perspektiven sozialwissenschaftlicher Innovationsforschung* (Veröffentlichungen aus dem Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V., ISF München). Frankfurt (Main): Campus-Verlag.

Sauer, J., Nickel, P. & Wastell, D. (2013). Designing automation for complex work environments under different levels of stress. *Applied ergonomics*, 44 (1), 119-127.

Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., Szalma, J. L. & Hancock, P. A. (2016). A Meta-Analysis of Factors Influencing the Development of Trust in Automation: Implications for Understanding Autonomy in Future Systems. *Human factors*, 58 (3), 377-400.

Schäfer, T. (2016). *Methodenlehre und Statistik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft* (4. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Schlund, S., Mayrhofer, W. & Rupprecht, P. (2018). Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72 (4), 276-286.

Schmauder, M. & Spanner-Ulmer, B. (2014). *Ergonomie. Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation* (REFA-Fachbuchreihe Arbeitsgestaltung, 1. Aufl.). München: Hanser Verlag.

Shahreki, J., Ganesan, J., Raman, K., Chin, A. L. L. & Chin, T. S. (2019). The effect of human resource information system application on employee satisfaction and turnover intention. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7 (2), 1462-1479.

Siebertz, K., van Bebber, D. & Hochkirchen, T. (2017). *Statistische Versuchsplanung. Design of Experiments (DoE)* (VDI-Buch, 2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

-
- Statistisches Bundesamt (2017). *Durchschnittsalter von Erwerbstätigen nach ausgewählten Berufsgruppen*, Statistisches Bundesamt. Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/11/PD18_448_122.html
- Steinebach, T., Grosse, E. H., Glock, C. H., Wakula, J. & Lunin, A. (2019). Evaluation der Akkuratheit von markerlosen Motion-Capture-Systemen zur ergonomischen Bewertung von Arbeitsplätzen in der Logistik. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), *Arbeit interdisziplinär analysieren - bewerten - gestalten. 65. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*. Dortmund: GfA-Press.
- Tavakol, M. & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International journal of medical education*, 2, 53-55.
- Taylor, S. & Todd, P. A. (1995). Understanding Information Technology Usage: A Test of Competing Models. *Information Systems Research*, 6 (2), 144-176.
- TEA. (2017). *CAPTIV Motion. Wireless Sensors and Measurements*. Zugriff am 31.01.2020.
- Teubner, S., Vernim, S., Dollinger, C. & Reinhart, G. (2018). Mitarbeiterorientiertes Produktionsmanagement. Ansätze zur flexibilitäts- und produktivitätssteigernden Einbindung von Mitarbeitern in ein zunehmend digitalisiertes und vernetztes Produktionssystem. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 113 (10), 647-651.
- Thode, H. (2002). *Testing for normality. Statistics, textbooks and monographs* (Bd. 164). New York: CRC Press.
- Ullrich, A., Vladova, G., Thim, C. & Gronau, N. (2015). Akzeptanz und Wandlungsfähigkeit im Zeichen der Industrie 4.0. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 52 (5), 769-789.
- Van Oostrom, S. H., Verschuren, M., Vet, H. C. W. de, Boshuizen, H. C. & Picavet, H. S. J. (2012). Longitudinal associations between physical load and chronic low back pain in the general population: the Doetinchem Cohort Study. *Spine*, 37 (9), 788-796.
- Van Rijn, R. M., Huisstede, B. M., Koes, B. W. & Burdorf, A. (2010). Associations between work-related factors and specific disorders of the shoulder — a systematic review of the literature. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 36 (3), 189-201.
- Venkatesh, V. & Davis, F. D. (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46 (2), 186-204.
- Venkatesh, V., Speier, C. & Morris, M. G. (2002). User Acceptance Enablers in Individual Decision Making About Technology: Toward an Integrated Model. *Decision Sciences*, 33 (2), 297-316.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27 (3), 425-478.

-
- Weidner, R., Redlich, T. & Wulfsberg, J. P. (2015). Technik, die die Menschen wollen – Unterstützungssysteme für Beruf und Alltag – Definition, Konzept und Einordnung. In R. Weidner, T. Redlich & J. P. Wulfsberg (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme* (1. Aufl.). Berlin: Springer Vieweg.
- Wischmann, S. & Hartmann, E. A. (2018). Prognostizierte Veränderungen der gestaltbaren Arbeitssystemdimensionen. In S. Wischmann & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung* (Bd. 19). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Wixom, B. H. & Todd, P. A. (2005). A Theoretical Integration of User Satisfaction and Technology Acceptance. *Information Systems Research*, 16 (1), 85-102.
- Zijlstra, F. R. H. (1993). *Efficiency in work behaviour. A design approach for modern tools*. Dissertation. Delft: University Press.
- Zimmerman, D. W. & Zumbo, B. D. (1993). Relative Power of the Wilcoxon Test, the Friedman Test, and Repeated-Measures ANOVA on Ranks. *The Journal of Experimental Education*, 62 (1), 75-86.

Normen und Richtlinien:

- DIN EN 1005-4 (2009). *Sicherheit von Maschinen - Menschliche körperliche Leistung - Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen*. Version vom Januar 2009. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 33402-2 (2005). *Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 33406 (1988). *Arbeitsplatzmaße im Produktionsbereich; Begriffe, Arbeitsplatztypen, Arbeitsplatzmaße*. Version vom Juli 1988. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 9241-210 (2011). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme*. Version vom Januar 2011. Berlin: Beuth Verlag.
- ISO 11226 (2000). *Ergonomics - Evaluation of static working postures*. Version vom Dezember 2000. Genf: ISO.

Studentische Arbeiten:

- Kremer, T. (2018). *Konzeption und Durchführung einer Usability-Studie für ein Industrie 4.0 Unterstützungssystem*. Bachelorarbeit, Technische Universität Darmstadt. Darmstadt.

Meiniger, S., Mihm, F., Lee, P., Philipp, J. & Wang, Y. (2016). *Entwicklung eines ergonomischen Arbeitstisches mit automatischer Höhen- und Seitenverstellung*. Advanced Design Project, Technische Universität Darmstadt. Darmstadt.

Anhang

A Hypothesen

Die Abkürzungen beziehen sich auf die Individualisierungsgrade ohne Adaption (oA), automatisierte Adaption (mA), automatisierte Adaption mit Nachjustierung (mANJ) sowie adaptierbare Anpassung (A).

Leithypothese	Hypothese	Aussage	angenommen (w)/ abgelehnt (f)
LH 1.1 (36)		Es besteht ein signifikanter Unterschied der Belastung der Kopfneigung zwischen den Individualisierungsgraden, wobei gilt:	rot gelb grün
	H 1.1.1	$\mu_{oA} \neq \mu_{mA}$ für alle Belastungskategorien	w f w
	H 1.1.2	$\mu_{oA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	w f w
	H 1.1.3	$\mu_{oA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	w w f
	H 1.1.4	$\mu_{mA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.5	$\mu_{mA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f w f
	H 1.1.6	$\mu_{mANJ} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f w w
		Es besteht ein signifikanter Unterschied der Belastung der Rumpfneigung zwischen den Individualisierungsgraden, wobei gilt:	rot gelb grün
	H 1.1.7	$\mu_{oA} \neq \mu_{mA}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.8	$\mu_{oA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.9	$\mu_{oA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.10	$\mu_{mA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.11	$\mu_{mA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.12	$\mu_{mANJ} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f f f
		Es besteht ein signifikanter Unterschied der Belastung durch die Flexion/-Extension des rechten Schultergelenks zwischen den Individualisierungsgraden, wobei gilt:	rot gelb grün
	H 1.1.13	$\mu_{oA} \neq \mu_{mA}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.14	$\mu_{oA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.15	$\mu_{oA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	w w w

	H 1.1.16	$\mu_{mA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.17	$\mu_{mA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	w f w
	H 1.1.18	$\mu_{mANJ} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f w w
	Es besteht ein signifikanter Unterschied der Belastung durch die Adduktion/Abduktion des rechten Schultergelenks zwischen den Individualisierungsgraden, wobei gilt:		rot gelb grün
	H 1.1.19	$\mu_{oA} \neq \mu_{mA}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.20	$\mu_{oA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.21	$\mu_{oA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	w w w
	H 1.1.22	$\mu_{mA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.23	$\mu_{mA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	w w w
	H 1.1.24	$\mu_{mANJ} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	w w w
	Es besteht ein signifikanter Unterschied der Belastung der Flexion/-Extension des linken Schultergelenks zwischen den Individualisierungsgraden, wobei gilt:		rot gelb grün
	H 1.1.25	$\mu_{oA} \neq \mu_{mA}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.26	$\mu_{oA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.27	$\mu_{oA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f w w
	H 1.1.28	$\mu_{mA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	w f f
	H 1.1.29	$\mu_{mA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f w w
	H 1.1.30	$\mu_{mANJ} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f w w
	Es besteht ein signifikanter Unterschied der Belastung der Adduktion/Abduktion des linken Schultergelenks zwischen den Individualisierungsgraden, wobei gilt:		rot gelb grün
	H 1.1.31	$\mu_{oA} \neq \mu_{mA}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.32	$\mu_{oA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.33	$\mu_{oA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f w w
	H 1.1.34	$\mu_{mA} \neq \mu_{mANJ}$ für alle Belastungskategorien	f f f
	H 1.1.35	$\mu_{mA} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f w w

	H 1.1.36	$\mu_{mANJ} \neq \mu_A$ für alle Belastungskategorien	f w w
LH 1.2 (6)	H 1.2.1	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad oA und mA unterscheidet sich signifikant. $\mu_{oA} \neq \mu_{mA}$	w
	H 1.2.2	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad oA und mANJ unterscheidet sich signifikant. $\mu_{oA} \neq \mu_{mANJ}$	w
	H 1.2.3	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad oA und A unterscheidet sich signifikant. $\mu_{oA} \neq \mu_A$	w
	H 1.2.4	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad mA und mANJ unterscheidet sich signifikant. $\mu_{mA} \neq \mu_{mANJ}$	f
	H 1.2.5	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad mA und A unterscheidet sich signifikant. $\mu_{mA} \neq \mu_A$	f
	H 1.2.6	Das subjektive Anstrengungsempfinden zwischen Individualisierungsgrad mANJ und A unterscheidet sich signifikant. $\mu_{mANJ} \neq \mu_A$	f
LH 1.3 (6)	H 1.3.1	Die Technikakzeptanz zwischen Individualisierungsgrad oA und mA unterscheidet sich signifikant. $\mu_{oA} \neq \mu_{mA}$	w
	H 1.3.2	Die Technikakzeptanz zwischen Individualisierungsgrad oA und mANJ unterscheidet sich signifikant. $\mu_{oA} \neq \mu_{mANJ}$	w
	H 1.3.3	Die Technikakzeptanz zwischen Individualisierungsgrad oA und A unterscheidet sich signifikant. $\mu_{oA} \neq \mu_A$	w
	H 1.3.4	Die Technikakzeptanz zwischen Individualisierungsgrad mA und mANJ unterscheidet sich signifikant. $\mu_{mA} \neq \mu_{mANJ}$	w
	H 1.3.5	Die Technikakzeptanz zwischen Individualisierungsgrad mA und A unterscheidet sich signifikant. $\mu_{mA} \neq \mu_A$	w

	H 1.3.6	Die Technikakzeptanz zwischen Individualisierungsgrad mANJ und A unterscheidet sich signifikant. $\mu_{\text{mANJ}} \neq \mu_A$	f
LH 2.1 (1)	H 2.1.1	Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und der Technikakzeptanz über alle Individualisierungsgrade feststellen.	w
LH 3.1 (3)	H 3.1.1	Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und der wahrgenommenen Nützlichkeit über alle Individualisierungsgrade feststellen.	w
	H 3.1.2	Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und der Einfachheit der Nutzung über alle Individualisierungsgrade feststellen.	w
	H 3.1.3	Es lässt sich ein Zusammenhang zwischen subjektivem Anstrengungsempfinden und der Kompatibilität über alle Individualisierungsgrade feststellen.	w
LH 4.1 (4)	H 4.1.1	Die Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens unterscheidet sich in Bezug auf die Technikaffinität signifikant. $\mu_{\text{technikaffin}} \neq \mu_{\text{nicht technikaffin}}$	f
	H 4.1.2	Die Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens unterscheidet sich in Bezug auf die Körperhöhe signifikant. $\mu_{>5\%/<95\%} \neq \mu_{<5\%/>95\%}$	f
	H 4.1.3	Die Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens unterscheidet sich in Bezug auf die Körpertiefe signifikant. $\mu_{>5\%/<95\%} \neq \mu_{<5\%/>95\%}$	f
	H 4.1.4	Die Bewertung des subjektiven Anstrengungsempfindens unterscheidet sich in Bezug auf die Reichweite signifikant. $\mu_{>5\%/<95\%} \neq \mu_{<5\%/>95\%}$	f

LH 4.2 (4)	H 4.2.1	Die Bewertung der Technikakzeptanz unterscheidet sich in Bezug auf die Technikaffinität signifikant. $\mu_{\text{technikaffin}} \neq \mu_{\text{nicht technikaffin}}$	f
	H 4.2.2	Die Bewertung der Technikakzeptanz unterscheidet sich in Bezug auf die Körperhöhe signifikant. $\mu_{>5\%/<95\%} \neq \mu_{<5\%/>95\%}$	f
	H 4.2.3	Die Bewertung der Technikakzeptanz unterscheidet sich in Bezug auf die Körpertiefe signifikant. $\mu_{>5\%/<95\%} \neq \mu_{<5\%/>95\%}$	f
	H 4.2.4	Die Bewertung der Technikakzeptanz unterscheidet sich in Bezug auf die Reichweite signifikant. $\mu_{>5\%/<95\%} \neq \mu_{<5\%/>95\%}$	f

B Genehmigung der Ethikkommission

Technische Universität Darmstadt | Karolinenplatz 5 | 64289 Darmstadt



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Frau
Dr.-Ing. Ilka Zöller
IAD
Fachbereich Maschinenbau

LI|01 – im Hause

Ihr Antrag EK 08/2019: Beurteilung von Adaptionsgraden individualisierbarer Steharbeitsplätze bei feinmotorischen Tätigkeiten

Sehr geehrte Frau Dr.-Ing. Zöller,

haben Sie Dank für Ihren Antrag vom 20. Februar 2019 und Ihre ergänzenden Auskünfte vom 16. April 2019.

Da Sie mit Ihrer Stellungnahme alle Fragen ausführlich und plausibel beantwortet haben, spricht die Ethikkommission für das o.g. Vorhaben ein positives Votum aus.

Mit freundlichem Gruß

Prof. Dr. Petra Gehring
Vorsitzende der Ethikkommission

Prof. Dr. Petra Gehring
Vorsitzende der Ethikkommission

Kontakt über:
Geschäftsstelle der Ethikkommission
Dr. Sebastian Hartmann

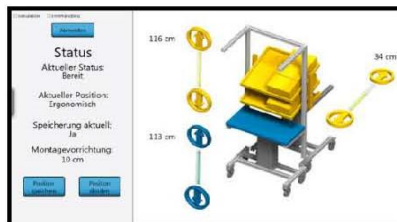
Karolinenplatz 5
64289 Darmstadt

Tel. +49 6151 16 - 20543
ethikkommission@tu-darmstadt.de

03.05.2019

Seite: 1/1

Untersuchung von adaptiven Steharbeitsplätzen in der Montage



Sehr geehrte Versuchsteilnehmerin, sehr geehrter Versuchsteilnehmer,

im Rahmen von Industrie 4.0 entwickeln sich immer neue Möglichkeiten, die Arbeitsbedingungen der Mitarbeiter zu verbessern. Jeder Mitarbeiter ist individuell und hat andere körperliche Anforderungen an den Arbeitsplatz. Hierbei können adaptive Arbeitsplätze eine große Hilfe sein. Sie ermöglichen es, den Arbeitsplatz an die individuellen Gegebenheiten des Mitarbeiters anzupassen mit dem Ziel, physische Belastungen wie z.B. eine schlechte Körperhaltung zu reduzieren. Das adaptive System ermittelt anhand der Maße von Körpergröße, Armreichweite und Körpertiefe die passende Einstellung des Steharbeitsplatzes, Akteure fahren daraufhin in die passende Position.

Hierzu wird am Institut für Arbeitswissenschaft an der Technischen Universität Darmstadt eine Probandenstudie durchgeführt, bei der die Teilnehmer eine simulierte Montagetätigkeit mit Legosteinen an einem adaptiven Steharbeitsplatz mit unterschiedlichen Adaptionsgraden durchführen. Dabei werden an zwei verschiedenen Tagen jeweils zwei Adaptionsgrade getestet. Die Adaptionsgrade werden Ihnen im jeweiligen Versuchstermin näher vorgestellt und erläutert. Untersuchungsziel der Studie ist die Bewertung der adaptiven Systeme bzgl. Technikakzeptanz und Belastung.

Die Bestimmung Ihrer körperbezogenen Daten erfolgt mittels eines Bodyscanners. Kommen Sie deshalb bitte mit enganliegender Kleidung. Während die Tätigkeit durchgeführt wird, tragen Sie Motion-Capture-Sensoren am Körper, um die Körperhaltung zu beurteilen, zusätzlich werden Sie mit einem Kamerasystem gefilmt, um die Körperhaltungswerte im Nachhinein zu synchronisieren. Des Weiteren werden Befragungen mittels Fragebögen zu Technikakzeptanz und Belastungsempfinden stattfinden. Jeder der Versuche dauert ungefähr 2 h. Als Aufwandsentschädigung erhält jeder Proband 30€.

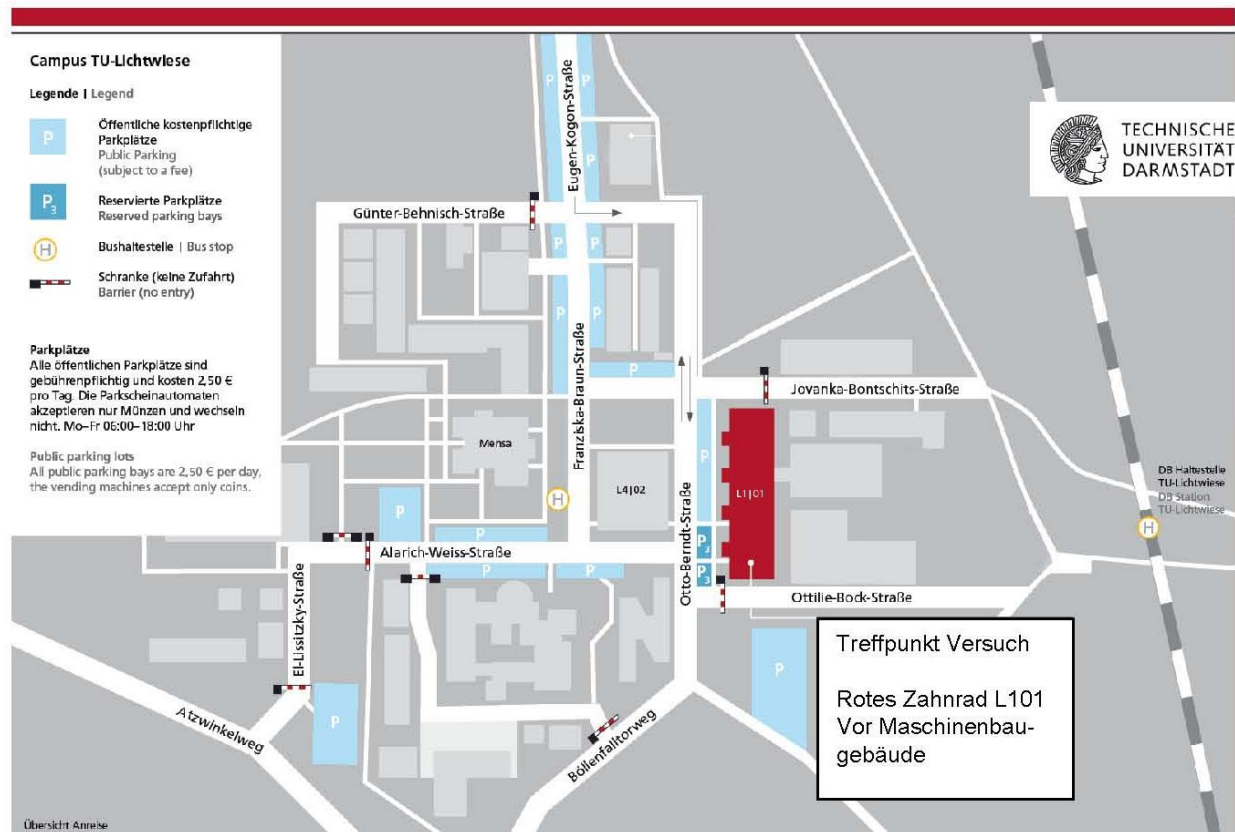
Zur Vorbereitung der Studie bitten wir Sie, bereits den ersten Fragebogen auszufüllen:

<https://www.soscisurvey.de/Technikaffinitaet/?r=26>

Vielen Dank für Ihre Bereitschaft, an dem Versuch teilzunehmen. Sollten Sie noch Fragen haben oder an dem Versuch nicht teilnehmen können, wenden Sie sich bitte an Frau Rönick (k.roenick@iad.tu-darmstadt.de 06151 1623128).

Wegbeschreibung

Der Versuch findet im Maschinenbaugebäude **L1 01** an der Technischen Universität Darmstadt am Standort Lichtwiese statt. Sie werden am roten Zahnrad vor dem Maschinenbaugebäude von unserem Team abgeholt und anschließend zum Fahrsimulator begleitet. Am Standort Lichtwiese sind alle öffentlichen Parkplätze gebührenpflichtig und kosten 2,50€ pro Tag. Die Parkscheinautomaten akzeptieren nur Münzen und wechseln nicht.



Anfahrt mit dem PKW

Folgen Sie vom Autobahnkreuz Darmstadt kommend der Rheinstraße/B26 entlang der Beschilderung *Darmstadt/Stadtmitte* in den City-Ring-Tunnel.

Im City-Ring-Tunnel nehmen Sie die linke Ausfahrt und biegen am Ende der Hängelstraße bei der Ampel halbrechts auf die Nieder-Ramstädter Straße ab. Folgen Sie der Straße für etwa 1 km, fahren Sie links in der Heinrichstraße ab und folgen Sie der Beschilderung *TU-Lichtwiese*.

Anfahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln

Der Campus TU-Lichtwiese ist mit öffentlichen Verkehrsmitteln über die Bushaltestelle *TU Lichtwiese/Mensa* und über die Bahnstation der Odenwaldbahn (VIAS) *Darmstadt TU-Lichtwiese Bahnhof* erreichbar.

Von Darmstadt Hauptbahnhof

Nehmen Sie die Buslinie K in Richtung TU Lichtwiese bis zur Endhaltestelle *TU Lichtwiese/Mensa*. Die Fahrt dauert ca. 18 Minuten. Zur Vorlesungszeit kann zudem die Buslinie KU genutzt werden.

Untersuchung von adaptiven Steharbeitsplätzen in der Montage

Aufklärungsbogen & Erklärung zum Datenschutz

Aufklärungsbogen

Die Richtlinien der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) sehen vor, dass sich die Teilnehmer_innen an empirischen Studien mit ihrer Unterschrift explizit und nachvollziehbar einverstanden erklären, dass sie freiwillig an unserer Forschung teilnehmen.

Aus diesem Grund möchten wir Sie bitten, die nachfolgenden Erläuterungen zum Inhalt der Studie zu lesen und untenstehende Einverständniserklärung zu unterzeichnen, sofern Sie damit einverstanden sind. Informationen zu Ablauf und Dauer der Studie entnehmen Sie dem ausgehändigten Probandenanschreiben.

Mit der Teilnahme verbundene Erfahrungen/Risiken

Die Teilnehmer_innen an dieser Studie werden keinem Risiko ausgesetzt, das über die Risiken des alltäglichen Lebens hinausgeht.

Erklärung zum Datenschutz

Die Datenverarbeitung dieser Studie geschieht nach datenschutzrechtlichen Bestimmungen der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) sowie des Hessischen Datenschutz- und Informationsfreiheitsgesetzes (HDSIG). Die Daten werden ausschließlich für die im Aufklärungsbogen beschriebenen Zwecke verwendet. Im Rahmen dieser Studie werden personenbezogene Daten (Alter, Geschlecht, Körpergröße, -reichweite und -tiefe) sowie Videoaufnahmen erhoben. Zusätzlich erfolgt das Ausfüllen von Onlinefragebögen zu Fragen der Technikakzeptanz, -affinität sowie des subjektiven Belastungsempfinden.

Ich bin darüber informiert, dass die Aufzeichnung und Auswertung der Video- / Bild- / Tonaufnahme anonymisiert erfolgt. Die Aufnahme wird von einer Person ausgewertet, die der Schweigepflicht unterliegt und keine vertraulichen Informationen weitergibt. Mir ist bekannt, dass ich mein Einverständnis zur Aufbewahrung bzw. Speicherung dieser Daten widerrufen kann, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Die Video- / Bild- / Tonaufnahme wird in einem verschlossenen Schrank aufbewahrt.

Ich bin darüber informiert worden, dass ich jederzeit eine Löschung meiner Aufnahmen verlangen kann. Die Aufnahmen werden aber in jedem Fall nach Abschluss der Auswertung vernichtet.

Mit der beschriebenen Handhabung der erhobenen Aufnahmen bin ich einverstanden.

Die Einverständniserklärung für die Video- / Bild- / Tonaufnahme ist freiwillig. Ich kann diese Erklärung jederzeit widerrufen. Im Falle einer Ablehnung oder eines Rücktritts entstehen für mich keinerlei Kosten oder anderweitige Nachteile; eine Teilnahme an der Studie ist dann allerdings nicht möglich.

Vertraulichkeit

Alle im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten sind selbstverständlich vertraulich und werden nur in anonymisierter Form genutzt. Demographische Angaben wie Alter oder Geschlecht lassen keinen eindeutigen Schluss auf Ihre Person zu. Zu keinem Zeitpunkt im Rahmen der jeweiligen Untersuchung werden wir Sie bitten, Ihren Namen oder andere eindeutige Informationen zu nennen.

Aufbewahrung

Die mit dieser Studie erhobenen Daten werden in Darmstadt gespeichert und nach Ablauf der gesetzlichen Frist (10 Jahre für Forschungsdaten) gelöscht. Die Speicherung erfolgt in einer Form, die keinen Rückschluss auf Ihre Person zulässt, das heißt die Daten werden anonymisiert. Diese Einverständniserklärung wird getrennt von den anderen Versuchsmaterialien und Unterlagen aufbewahrt und nach Ablauf dieser Frist vernichtet.

Freiwilligkeit & Rechte der Versuchspersonen

Ihre Teilnahme an dieser Untersuchung ist freiwillig. Es steht Ihnen zu jedem Zeitpunkt dieser Studie frei, Ihre Teilnahme abubrechen und damit diese Einwilligung zurückziehen (Widerruf), ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen. Wenn Sie die Teilnahme abbrechen, werden keine Daten von Ihnen gespeichert und alle bisher vorliegenden Daten zu Ihrer Person vernichtet.

Sie haben das Recht, Auskunft über die Sie betreffenden personenbezogenen Daten zu erhalten sowie ggf. deren Berichtigung oder Löschung zu verlangen. In Streiffällen haben Sie das Recht, sich beim Hessischen Datenschutzbeauftragten zu beschweren (Adresse s.u.).

Einverständnis

Ich habe die Erläuterungen zum Experiment gelesen und bin damit einverstanden, an der dem genannten Experiment teilzunehmen.

Ich erkläre mich einverstanden, dass die im Rahmen des Experiments erhobenen Daten (Fragebogen, Simulationsdaten und Video- / Bild- / Tonaufnahme) zu wissenschaftlichen Zwecken ausgewertet und in anonymisierter Form gespeichert werden. Ich bin mir darüber bewusst, dass meine Teilnahme freiwillig erfolgt und ich den Versuch jederzeit und ohne die Angabe von Gründen abbrechen kann.

Datum

Name (in Druckschrift)

Unterschrift

Bei Fragen, Anregungen oder Beschwerden können Sie sich gerne an *die Versuchsleiterin* wenden:

Katharina Rönick, k.roenick@iad.tu-darmstadt.de

Bei Fragen zum Datenschutz kann auch der Datenschutzbeauftragte der TU Darmstadt kontaktiert werden:

Gerhard Schmitt Email: datenschutz@tu-darmstadt.de

Kontaktadresse des Hessischen Datenschutzbeauftragten:

Email: poststelle@datenschutz.hessen.de

E Adaptionsprotokoll

Wichtige Hinweise:

Bei adaptierbar und ohne Adaption, die Benutzungsoberfläche des Tisches VORHER aufrufen! Das Anmelden soll die Versuchsperson NICHT mitbekommen! Nur bei der Adaption mit/ohne Nachjustierung gemeinsam mit der Versuchsperson anmelden!!!

Kurze Einführung in die Arbeitsaufgabe:

„Für die Untersuchung der Studie werden Sie für die nächste Zeit an diesem Steharbeitsplatz arbeiten. Hierbei sollten Muster mit Legosteinen auf diese Legoplatte gesteckt werden. Das Muster wird Ihnen auf diesem Bildschirm angezeigt.“

Bei der Vorstellung des 2. Individualisierungsgrades nur erwähnen, dass die Aufgabe gleichbleibt. Beim 2. Termin noch einmal nachfragen ob Aufgabe noch bekannt ist und nur nach Bedarf noch einmal erläutern.

Beschreibung der Individualisierungsgrade (Reihenfolge der Person beachten!)

Individualisierungsgrad adaptierbar (mit Karte vorher anmelden durch Versuchsleiter):

Sie arbeiten an einem adaptierbaren Steharbeitsplatz, im Folgenden System genannt. Adaptierbar heißt, dass Sie Höhe und Reichweite des Arbeitsplatzes selbst einstellen können.

Das System funktioniert wie folgt:

Erläuterung der Buttons zum Verstellen von Höhe und Reichweite des Tisches

Nach der Erklärung kann die Versuchsperson noch Fragen zu dem System stellen und schon mal eine Einstellung für die Aufgabe vornehmen. Nach den 45 min erhält er den Fragebogen zum Ausfüllen: Ausfüllen der Fragebögen IMMER im Sitzen! Gerne noch einmal der Hinweis, dass im Fragebogen mit System der Steharbeitsplatz mit aktuellem Individualisierungsgrad gemeint ist.

Keine Adaption (mit Karte vorher anmelden durch Versuchsleiter):

Sie arbeiten an einem Standardisierten Montagesteharbeitsplatz, im Folgenden System genannt, wie er in der Industrie häufig verwendet wird. Bitte bewerten Sie den Arbeitsplatz (System) mit dem Fragebogen.

Nach den 45 min erhält er den Fragebogen zum Ausfüllen: Ausfüllen der Fragebögen IMMER im Sitzen! Gerne noch einmal der Hinweis, dass im Fragebogen mit System der Steharbeitsplatz mit aktuellem Individualisierungsgrad gemeint ist.

Individualisierungsgrad adaptiv ohne Nachjustierung:

Sie arbeiten an einem adaptiven Steharbeitsplatz, im Folgenden System genannt. Adaptiv heißt, dass Höhe und Reichweite des Arbeitsplatzes anhand Ihrer Körpermaße, die vorher auf die Karte gespeichert wurden, automatisiert eingestellt werden.

Das System funktioniert wie folgt:

Anmeldung mit der Versuchsperson durchführen bis Bildschirm zu Starten der Montageanweisung aufgerufen ist.

Die Versuchsperson kann noch Fragen zu dem System stellen Nach den 45 min erhält er den Fragebogen zum Ausfüllen: Ausfüllen der Fragebögen IMMER im Sitzen! Gerne noch einmal der Hinweis, dass im Fragebogen mit System der Steharbeitsplatz mit aktuellem Individualisierungsgrad gemeint ist.

Individualisierungsgrad adaptiv mit Nachjustierung:

Sie arbeiten an einem adaptiven Steharbeitsplatz, im Folgenden System genannt. Adaptiv heißt, dass Höhe und Reichweite des Arbeitsplatzes anhand Ihrer Körpermaße, die vorher auf die Karte gespeichert wurden, automatisiert eingestellt werden. Sie haben allerdings die Möglichkeit, Höhe und Reichweite manuell zu verstellen/nachzujustieren.

Das System funktioniert wie folgt:

Anmeldung mit der Versuchsperson durchführen bis Bildschirm zu Starten der Montageanweisung aufgerufen ist. Erklären, wie nachjustiert werden kann OHNE die automatisierte Einstellung zu verstellen! Außer die Versuchsperson besteht darauf, schon zu Beginn der Arbeitsaufgabe die Einstellung zu verändern.

Die Versuchsperson kann noch Fragen zu dem System stellen. Nach den 45 min erhält er den Fragebogen zum Ausfüllen: Ausfüllen der Fragebögen IMMER im Sitzen! Gerne noch einmal der Hinweis, dass im Fragebogen mit System der Steharbeitsplatz mit aktuellem Individualisierungsgrad gemeint ist.

F Borg-Skala

Anleitung zum Gebrauch der Borg-RPE-Skala nach G. Borg, 2004:

Die Skala wird zu Beginn der Belastung der Versuchsperson gezeigt.

Folgende Anleitung ist zu benutzen:

„Wir wollen Ihr Anstrengungsempfinden während der Belastung bestimmen, das heißt wir wollen feststellen, wie anstrengend für Sie das Arbeiten am Steharbeitsplatz ist. Das Anstrengungsempfinden hängt von der Beanspruchung und Ermüdung der Muskulatur ab, ferner von Atemlosigkeit (beziehungsweise Luftnot) oder Brustschmerzen. Wir werden Sie im Versuch mehrmals nach Ihrem Anstrengungsempfinden befragen, bitte nutzen Sie hierfür die hier dargestellte Skala.

Auf dieser Skala bedeutet

6: überhaupt nicht anstrengend und
20 bedeutet maximale Anstrengung.

9: entspricht einer sehr leichten“ Anstrengung, wie bei einer Normalperson das normale Gehen im eigenen Tempo.

13: auf der Skala ist: „etwas anstrengend“, man kann bei der Belastung aber gut weitermachen.

15: ist „anstrengend“ und „schwer“, aber Fortfahren ist noch möglich.

17: „sehr anstrengend“. Sie können die Belastung noch weitermachen, sie müssen sich aber sehr anstrengen und sind bald erschöpft.

19: „sehr sehr anstrengend“, für die meisten Personen ist dies eine sehr anstrengende Belastung, die stärkste, die sie jemals erlebt haben.

Versuchen Sie, Ihr Anstrengungsempfinden so spontan und ehrlich wie möglich anzugeben, ohne über die aktuelle Belastung nachzudenken. Versuchen Sie, die Anstrengung weder zu über- noch unterschätzen. Ihre eigene Empfindung von Leistung und Anstrengung ist wichtig, nicht die im Vergleich zu anderen. Schauen Sie auf die Skala und die begleitenden Worte, und geben Sie eine Zahl an.

Haben Sie noch Fragen?



Vorabbefragung zur Untersuchung adaptiver Steharbeitsplätze in der Montage

Sehr geehrte Damen und Herren,

Herzlichen Dank zu Ihrer Teilnahme am Onlinefragebogen. Dieser dient unter anderem als Grundlage für eine Dissertation, die am Institut für Arbeitswissenschaft an der Technischen Universität Darmstadt eingereicht wird.

In diesem Fragebogen bitten wir Sie vorab einige Fragen zu Ihrer Person und zu Ihrer Technikaffinität zu beantworten, bevor wir Sie dann herzlichst bei uns am Institut begrüßen dürfen.

Bei jeder Frage müssen Sie sich für eine der vorgegebenen Antwortmöglichkeiten entscheiden. Dies geschieht durch Ankreuzen eines Kästchens. Einige Formulierungen können Ihnen sehr ähnlich vorkommen. Lassen Sie sich davon nicht beirren: Lesen Sie die Fragen aufmerksam und betrachten Sie sie getrennt voneinander.

Vielen herzlichen Dank für Ihre Teilnahme.

Mit freundlichen Grüßen,
Katharina Rönick

Bitte geben Sie hier Ihren Probandencode ein, den Sie vom Versuchsleiter erhalten haben.

Welches Geschlecht haben Sie?

- ☐ männlich
- ☐ weiblich
- ☐ unbestimmt

In welchem Jahr sind Sie geboren?

Wie häufig kommt Arbeiten im Stehen in Ihrem beruflichen Kontext vor?

- ☐ häufig
- ☐ manchmal
- ☐ selten
- ☐ nie

Einstellung zu und Umgang mit elektronischen Geräten

Vielen Dank, dass Sie an dieser Befragung teilnehmen. Üblicherweise dauert es nicht länger als 10 Minuten, den Fragebogen auszufüllen. Der Fragebogen befasst sich mit Ihrer persönlichen Meinung zu verschiedenen Aspekten elektronischer Geräte sowie mit der Erfahrung, die Sie im Umgang mit diesen Geräten haben.

Unter dem Begriff „elektronische Geräte“ verstehen wir Geräte, wie:

- Computer, Handys oder Palms/PDAs, Digitalkameras, DVD-Spiele oder Mp3-Spiele
- Geldautomaten, Ticketautomaten,
- neue Systeme im Auto wie Navigationssysteme.

Nicht gemeint sind:

- Werkzeuge wie Bohrmaschine, Kreissäge, Hammer oder Rasenmäher,
- Haushaltsgeräte wie Toaster, Handrührgerät, Wasserkocher,
- Fahrzeuge und Fahrzeugmotoren.

Im Folgenden finden Sie eine Reihe von Aussagen. Bitte geben Sie für jede der Aussagen an, wie gut sie auf Sie persönlich zutrifft. Kreuzen Sie dazu das Feld an, das Ihrer Meinung am besten entspricht.

Ich liebe es, neue elektronische Geräte zu besitzen.

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
trifft überhaupt nicht zu	trifft eher nicht zu	teils – teils	trifft eher zu	trifft völlig zu

Elektronische Geräte machen krank.

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
trifft überhaupt nicht zu	trifft eher nicht zu	teils – teils	trifft eher zu	trifft völlig zu

Ich gehe gern in den Fachhandel für elektronische Geräte.

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
trifft überhaupt nicht zu	trifft eher nicht zu	teils – teils	trifft eher zu	trifft völlig zu

Ich habe bzw. hätte Verständnisprobleme beim Lesen von Elektronik- und Computerzeitschriften.

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
trifft überhaupt nicht zu	trifft eher nicht zu	teils – teils	trifft eher zu	trifft völlig zu

Elektronische Geräte ermöglichen einen hohen Lebensstandard.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Elektronische Geräte führen zu geistiger Verarmung.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Elektronische Geräte machen vieles umständlicher.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Ich informiere mich über elektronische Geräte, auch wenn ich keine Kaufabsicht habe.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Elektronische Geräte machen unabhängig.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Es macht mir Spaß, ein elektronisches Gerät auszuprobieren.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Elektronische Geräte erleichtern mir den Alltag.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Elektronische Geräte erhöhen die Sicherheit.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Elektronische Geräte verringern den persönlichen Kontakt zwischen den Menschen.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Ich kenne die meisten Funktionen der elektronischen Geräte, die ich besitze.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Ich bin begeistert, wenn ein neues elektronisches Gerät auf den Markt kommt.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Elektronische Geräte verursachen Stress.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Ich kenne mich im Bereich elektronischer Geräte aus.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Es fällt mir leicht, die Bedienung eines elektronischen Geräts zu lernen.

☐ trifft überhaupt nicht zu ☐ trifft eher nicht zu ☐ teils – teils ☐ trifft eher zu ☐ trifft völlig zu

Elektronische Geräte helfen, an Informationen zu gelangen.

☐ trifft überhaupt
nicht zu

☐ trifft eher nicht zu

☐ teils – teils

☐ trifft eher zu

☐ trifft völlig zu

Seite 04

Abschließende Anmerkungen?

Wenn Sie noch etwas kritisch anmerken oder einen Vorschlag zum Steharbeitsplatz oder zur Studie äußern möchten, würden wir uns darüber freuen.

Letzte Seite

Falls Sie Fragen zur Umfrage haben, senden Sie uns eine E-mail: k.roenick@iad.tu-darmstadt.de Vielen Dank für Ihre Mithilfe! Mit freundlichen Grüßen, Katharina Rönick

Einladung zum SoSci Panel

Das nicht-kommerzielle **SoSci Panel** würde Sie künftig gerne zu interessanten Onlinebefragungen einladen. Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie die wissenschaftliche Forschung durch Ihre Teilnahme unterstützen.

E-Mail:

Die Teilnahme am SoSci Panel ist freiwillig und kann jederzeit widerrufen werden, Sie gehen mit der Teilnahme keinerlei Verpflichtungen ein.

Wenn Sie Ihre E-Mail-Adresse eintragen, erhalten Sie zunächst eine Bestätigungs-Mail. In dieser E-Mail finden Sie einen Link, um die Teilnahme am SoSci Panel zu bestätigen sowie weitere Informationen zum strengen **Datenschutz im SoSci Panel**.

Wir senden Ihnen selbstverständlich keine Werbung und geben Ihre E-Mail-Adresse nicht an Dritte weiter.

Der Fragebogen, den Sie gerade ausgefüllt haben, wurde gespeichert. Sie können das Browserfenster selbstverständlich auch schließen, ohne am SoSci Panel teilzunehmen.

H Technikakzeptanzfragebogen



Technikakzeptanzfragebogen → TA

24.02.2020, 15:24

Seite 01

Bitte geben Sie hier Ihren Probandencode ein, den Sie vom Versuchsleiter erhalten haben.

Welcher Adoptionsgrad wird gerade bewertet?

[Bitte auswählen]

Seite 02

Fragebogen zur subjektiven Beurteilung des adaptiven Steharbeitsplatzes

Sehr geehrte Damen und Herren,

im folgenden Verlauf dieses Fragebogens erwarten Sie Fragen zur subjektiven Beurteilung des Adaptionsgrades des Steharbeitsplatzes, den Sie gerade getestet haben.

Bei jeder Frage müssen Sie sich für eine der vorgegebenen Antwortmöglichkeiten entscheiden. Dies geschieht durch Ankreuzen eines Kästchens. Einige Formulierungen können Ihnen sehr ähnlich vorkommen. Lassen Sie sich davon nicht beirren: Lesen Sie die Fragen aufmerksam und betrachten Sie sie getrennt voneinander.

Vielen herzlichen Dank für Ihre Teilnahme.

Mit freundlichen Grüßen,
Katharina Rönick

Das System wird für mich nicht von Nutzen sein.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Nutzung des Systems wird meine berufliche Leistung verbessern.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Vorteile des Systems werden die Nachteile überwiegen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Alles in allem wird die Nutzung des Systems von Vorteil sein.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Nutzung des Systems wird gut zu meiner Art und Weise passen, wie ich arbeite.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Nutzung des Systems wird gut zu meinem Arbeitsstil passen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Einstellung des Systems wird mit meiner Arbeitsweise vereinbar sein.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Anweisungen zur Verwendung der Komponenten des Systems werden schwierig zu befolgen sein.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Es wird schwierig sein, die Bedienung des Systems zu erlernen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Es wird einfach sein, die Komponenten des Systems zu bedienen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Idee, das System zu nutzen ist

☐ sehr schlecht ☐ schlecht ☐ eher schlecht ☐ weder noch ☐ eher gut ☐ gut ☐ sehr gut

Die Idee, das System zu nutzen ist

☐ garnicht sinnvoll ☐ nicht sinnvoll ☐ eher nicht sinnvoll ☐ weder noch ☐ eher sinnvoll ☐ sinnvoll ☐ sehr sinnvoll

Die Idee, das System zu nutzen

☐ mag ich garnicht ☐ mag ich nicht ☐ mag ich eher nicht ☐ weder noch ☐ mag ich eher ☐ mag ich ☐ mag ich sehr

Das System zu benutzen wäre

☐ sehr unangenehm ☐ unangenehm ☐ eher unangenehm ☐ weder noch ☐ eher angenehm ☐ angenehm ☐ sehr angenehm

Ich beabsichtige, das System zu benutzen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Ich beabsichtige das System zu benutzen, wenn ich an einem Steharbeitsplatz arbeite.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Ich beabsichtige, das System regelmäßig zu benutzen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Seite 04

Welcher Adaptionegrad wird gerade bewertet?

[Bitte auswählen]

Fragebogen zur subjektiven Beurteilung des adaptiven Steharbeitsplatzes

Sehr geehrte Damen und Herren,

im folgenden Verlauf dieses Fragebogens erwarten Sie Fragen zur subjektiven Beurteilung des Adaptionsgrades des Steharbeitsplatzes, den Sie gerade getestet haben.

Bei jeder Frage müssen Sie sich für eine der vorgegebenen Antwortmöglichkeiten entscheiden. Dies geschieht durch Ankreuzen eines Kästchens. Einige Formulierungen können Ihnen sehr ähnlich vorkommen. Lassen Sie sich davon nicht beirren: Lesen Sie die Fragen aufmerksam und betrachten Sie sie getrennt voneinander.

Vielen herzlichen Dank für Ihre Teilnahme.

Mit freundlichen Grüßen,
Katharina Rönick

Das System wird für mich nicht von Nutzen sein.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Nutzung des Systems wird meine berufliche Leistung verbessern.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Vorteile des Systems werden die Nachteile überwiegen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Alles in allem wird die Nutzung des Systems von Vorteil sein.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Nutzung des Systems wird gut zu meiner Art und Weise passen, wie ich arbeite.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Nutzung des Systems wird gut zu meinem Arbeitsstil passen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Einstellung des Systems wird mit meiner Arbeitsweise vereinbar sein.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Anweisungen zur Verwendung der Komponenten des Systems werden schwierig zu befolgen sein.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Es wird schwierig sein, die Bedienung des Systems zu erlernen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Es wird einfach sein, die Komponenten des Systems zu bedienen.

☐ stimme überhaupt nicht zu ☐ stimme nicht zu ☐ stimme eher nicht zu ☐ weder noch ☐ stimme eher zu ☐ stimme zu ☐ stimme völlig zu

Die Idee, das System zu nutzen ist

☐ sehr schlecht ☐ schlecht ☐ eher schlecht ☐ weder noch ☐ eher gut ☐ gut ☐ sehr gut

Die Idee, das System zu nutzen ist

☐ garnicht sinnvoll ☐ nicht sinnvoll ☐ eher nicht sinnvoll ☐ weder noch ☐ eher sinnvoll ☐ sinnvoll ☐ sehr sinnvoll

Die Idee, das System zu nutzen

☐
mag ich
garnicht

☐
mag ich
nicht

☐
mag ich
eher nicht

☐
weder noch

☐
mag ich
eher

☐
mag ich

☐
mag ich
sehr

Das System zu benutzen wäre

☐
sehr
unangenehm

☐
unangenehm

☐
eher
unangenehm

☐
weder noch

☐
eher
angenehm

☐
angenehm

☐
sehr
angenehm

Ich beabsichtige, das System zu benutzen.

☐
stimme
überhaupt
nicht zu

☐
stimme
nicht zu

☐
stimme eher
nicht zu

☐
weder noch

☐
stimme eher
zu

☐
stimme zu

☐
stimme
völlig zu

Ich beabsichtige das System zu benutzen, wenn ich an einem Steharbeitsplatz arbeite.

☐
stimme
überhaupt
nicht zu

☐
stimme
nicht zu

☐
stimme eher
nicht zu

☐
weder noch

☐
stimme eher
zu

☐
stimme zu

☐
stimme
völlig zu

Ich beabsichtige, das System regelmäßig zu benutzen.

☐
stimme
überhaupt
nicht zu

☐
stimme
nicht zu

☐
stimme eher
nicht zu

☐
weder noch

☐
stimme eher
zu

☐
stimme zu

☐
stimme
völlig zu

Seite 07

Abschließende Anmerkungen?

Wenn Sie noch etwas kritisch anmerken oder einen Vorschlag zum Steharbeitsplatz oder zur Studie äußern möchten, würden wir uns darüber freuen.

Falls Sie Fragen zur Umfrage haben, senden Sie uns eine E-mail: k.roenick@iad.tu-darmstadt.de Vielen Dank für Ihre Mithilfe! Mit freundlichen Grüßen, Katharina Rönick

Einladung zum SoSci Panel

Das nicht-kommerzielle **SoSci Panel** würde Sie künftig gerne zu interessanten Onlinebefragungen einladen. Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie die wissenschaftliche Forschung durch Ihre Teilnahme unterstützen.

E-Mail:

[Am Panel teilnehmen](#)

Die Teilnahme am SoSci Panel ist freiwillig und kann jederzeit widerrufen werden, Sie gehen mit der Teilnahme keinerlei Verpflichtungen ein.

Wenn Sie Ihre E-Mail-Adresse eintragen, erhalten Sie zunächst eine Bestätigungs-Mail. In dieser E-Mail finden Sie einen Link, um die Teilnahme am SoSci Panel zu bestätigen sowie weitere Informationen zum strengen **Datenschutz im SoSci Panel**.

Wir senden Ihnen selbstverständlich keine Werbung und geben Ihre E-Mail-Adresse nicht an Dritte weiter.

Der Fragebogen, den Sie gerade ausgefüllt haben, wurde gespeichert. Sie können das Browserfenster selbstverständlich auch schließen, ohne am SoSci Panel teilzunehmen.